

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2012

Marek Waśniowski

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Simulované měřicí přístroje
Simulated Measurement Instruments

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Waśniowski**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2612R025 Informatika a výpočetní technika

Téma: **Simulované měřicí přístroje**
Simulated Measurement Instruments

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je tvorba virtuálních přístrojů pro podporu výuky v laboratoři.

Zásady pro vypracování:

1. Studium vlastností a definice funkcí virtuálních přístrojů .
2. Realizace virtuálního osciloskopu, funkčního generátoru, multimetru a wattmetru.
3. Praktické ověření činnosti simulovaných přístrojů vytvořených ve vývojovém prostředí LabView s hardwarovou podporou univerzálních měřicích karet National Instruments připojených přes USB rozhraní.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Agilent MSO6012A users manual, Agilent 3322A users manual, Agilent 34401A users manual, Yokogawa WT230 users manual
- [2] ŽÍDEK J.: Virtuální instrumentace na bázi grafického programování, 2003, ISBN 80-248-0298-8
- [3] HAVLÍČEK J., VLACH J., VLACH M., VLACHOVÁ V.: Začínáme s LabVIEW, BEN Praha, 2008
- Další literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

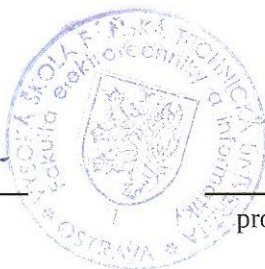
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ludvík Koval, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012


doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry

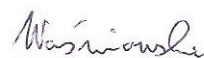



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.



.....
Marek Waśniowski

Datum odevzdání bakalářské práce: 3.5.2012

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Ludvíkovi Kovalovi, Ph.D. za cenné rady, konzultace a připomínky, spojené s vypracováním zadaného úkolu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce popisuje návrh a realizaci sady čtyř základních simulovaných měřicích přístrojů, které bývají nezbytnou součástí většiny laboratoří měřicí techniky. Tato sada přístrojů je tvořena virtuálním osciloskopem, funkčním generátorem, multimetrem a wattmetrem. Každý z těchto virtuálních přístrojů je vytvořen ve vývojovém prostředí LabVIEW od firmy National Instruments a může pracovat jak v simulačním režimu (bez měřicí karty), tak i v reálném režimu. Data jsou digitalizovaná v reálném režimu pomocí některé ze dvou měřicích karet NI PCI-6221 a NI USB-6212, na nichž byly aplikace vyzkoušeny. NI USB-6212 je přenositelná měřicí karta s USB rozhraním. NI PCI-6221 je přenositelná měřicí karta s PCI rozhraním, která se vkládá přímo do PC. Obě měřicí karty jsou vyrobeny firmou National Instruments. Byly vyzkoušeny v laboratoři NK426, kde jsou rovněž k dispozici.

Klíčová slova

LabVIEW, grafický programovací jazyk G, virtuální měřicí přístroje

Abstract

This thesis is focused on the description of a proposal and realisation of a set of four basic simulated measurement instruments, which are a necessary part of most measurement laboratories. This set of instruments consists of a virtual oscilloscope, function generator, multimeter and wattmeter. Each of these virtual instruments is created in National Instruments' LabVIEW development environment and can work in a simulation mode (without a measuring card) or a real mode. Data are digitalized in a real time by one of two measuring cards NI PCI-6221 and NI USB-6212, on which the applications were tested. NI USB-6212 is a portable measuring card with an USB interface. NI PCI-6221 is a portable measuring card with a PCI interface, which is inserted directly into the PC. Both of the measuring cards are produced by National Instruments. They are available in laboratory NK426, where they were also tested.

Keywords

LabVIEW, a graphical programming language G, virtual measurement instruments

Seznam použitých symbolů a zkratek

- ADC** – Analog-to-Digital Converter – převodník analogového signálu na digitální
- Blokový diagram** – programový kód aplikace v LabVIEW
- DAC** – Digital-to-Analog Converter – převodník digitálního signálu na analogový
- DAQ** – Data Acquisition – proces získávání dat dané měřené veličiny
- FIFO** – First In, First Out – prvek uložený jako první, je jako první i vybrán
- Front Panel** – čelní panel aplikace v LabVIEW
- LabVIEW** – vývojové prostředí pro tvorbu virtuálních přístrojů
- MAX** – Measurement & Automation Explorer – utilita pro konfiguraci měřicí karty
- MUX** – Multiplexer – elektronický člen, fungující na principu přepínače
- PCI** – Peripheral Component Interconnect – interní sběrnice
- subVI** – podprogram vytvořený v aplikaci LabVIEW
- triggering** – spouštění běhu časové základny nebo zahájení digitalizace
- USB** – Universal Serial Bus – rozhraní PC pro připojení externích zařízení
- utilita** – aplikace sloužící pro zjednodušení práce uživatele a podporu větších aplikací
- VI** – Virtual Instrument – virtuální přístroj – program vytvořený ve vývojovém prostředí LabVIEW

Obsah

1	ÚVOD	1
2	MĚŘÍČÍ KARTY	2
2.1	PŘIPOJENÍ KARET K PC	2
2.2	DATA ACQUISITION (DAQ)	3
2.3	UTILITA MAX PRO MĚŘÍČÍ KARTY V PROSTŘEDÍ LABVIEW	4
2.4	MĚŘÍČÍ KARTA NI USB-6212	5
2.4.1	Specifikace karty	5
2.4.2	Rozložení pinů (pinout)	7
2.4.3	Vnitřní struktura	8
2.5	MĚŘÍČÍ KARTA NI PCI-6221	10
2.5.1	Specifikace karty	11
2.5.2	Rozložení pinů (pinout)	13
2.5.3	Vnitřní struktura	14
3	VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ LABVIEW	17
3.1	KRÁTKÁ HISTORIE	17
3.2	DATAFLOW PROGRAMOVÁNÍ	17
3.3	GRAFICKÉ PROGRAMOVÁNÍ	18
4	FUNKČNÍ GENERÁTOR	20
4.1	POPIS PŘÍSTROJE	20
4.2	REALIZACE V LABVIEW	21
4.2.1	Předpokládané funkce	21
4.2.2	Uživatelské rozhraní (Front Panel)	22
4.2.3	Blokový diagram	25
4.2.3.1	Logický blok A	25
4.2.3.2	Logický blok B	26
4.2.3.3	Logický blok C	27
4.2.3.4	Logický blok D	29
4.2.3.5	Logický blok E	29
4.2.4	Kontrola funkčnosti aplikace	30
5	OSCILOSKOP	32
5.1	POPIS PŘÍSTROJE	32
5.2	REALIZACE V LABVIEW	34
5.2.1	Předpokládané funkce	34
5.2.2	Uživatelské rozhraní (Front Panel)	34
5.2.3	Blokový diagram	38
5.2.3.1	Logický blok A	39
5.2.3.2	Logický blok B	39
5.2.3.3	Logický blok C ₁	39
5.2.3.4	Logický blok C ₂	40
5.2.3.5	Logický blok C ₃	43
5.2.3.6	Logický blok D	44
5.2.4	Kontrola funkčnosti aplikace	45

6	MULTIMETR	47
6.1	POPIS PŘÍSTROJE	47
6.2	REALIZACE V LABVIEW	48
6.2.1	Předpokládané funkce	48
6.2.2	Uživatelské rozhraní (Front Panel)	48
6.2.3	Blokový diagram	49
6.2.3.1	Logický blok A	50
6.2.3.2	Logický blok B	50
6.2.3.3	Logický blok C ₁	50
6.2.3.4	Logický blok C ₂	51
6.2.3.5	Logický blok C ₃	52
6.2.3.6	Logický blok D	52
6.2.4	Kontrola funkčnosti aplikace	53
7	WATTMETR	54
7.1	POPIS PŘÍSTROJE	54
7.2	REALIZACE V LABVIEW	55
7.2.1	Předpokládané funkce	55
7.2.2	Princip měření proudu pomocí odporového normálu	55
7.2.3	Uživatelské rozhraní (Front Panel)	56
7.2.4	Blokový diagram	58
7.2.4.1	Logický blok A	59
7.2.4.2	Logický blok B	59
7.2.4.3	Logický blok C ₁	59
7.2.4.4	Logický blok C ₂	59
7.2.4.5	Logický blok C ₃	63
7.2.4.6	Logický blok D	63
7.2.5	Kontrola funkčnosti aplikace	64
8	ZÁVĚR	66
9	POUŽITÁ LITERATURA	67
10	SEZNAM OBRÁZKŮ	69
11	SEZNAM PŘÍLOH	72

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je tvorba virtuálních přístrojů pro podporu výuky v laboratoři. Konkrétně se jedná o osciloskop, funkční generátor, jednoduchý multimetr a wattmetr, které jsou dnes snad již neoddělitelnou součástí většiny pokročilejších laboratoří měření. Tyto přístroje bude následně univerzita používat jako pomůcky při výuce a v rámci praktických cvičení. Jejich virtualizací dojde ke značnému zjednodušení práce studentů a k ušetření finančních nákladů i místa, které by reálné přístroje zabíraly. Uživatelské rozhraní virtuálních přístrojů je navrženo tak, aby bylo přehledné a jednoduše ovladatelné. Vzhled osciloskopu, multimetru a wattmetru je tvořen způsobem, který se podobá reálným měřicím přístrojům. V konečném důsledku budou mít studenti možnost seznámit se s ovládáním relativně komplikovanějších reálných zařízení.

Celkově se práce skládá ze tří základních částí. V první části se zabýváme teoretickým studiem vlastností a požadavků tvorby virtuálních přístrojů. Následující praktická část se zaměřuje na definici a realizaci zadaných virtuálních přístrojů i ověření jejich správné činnosti. V závěru je prezentován výsledek práce a přínos námi vytvořených virtuálních přístrojů.

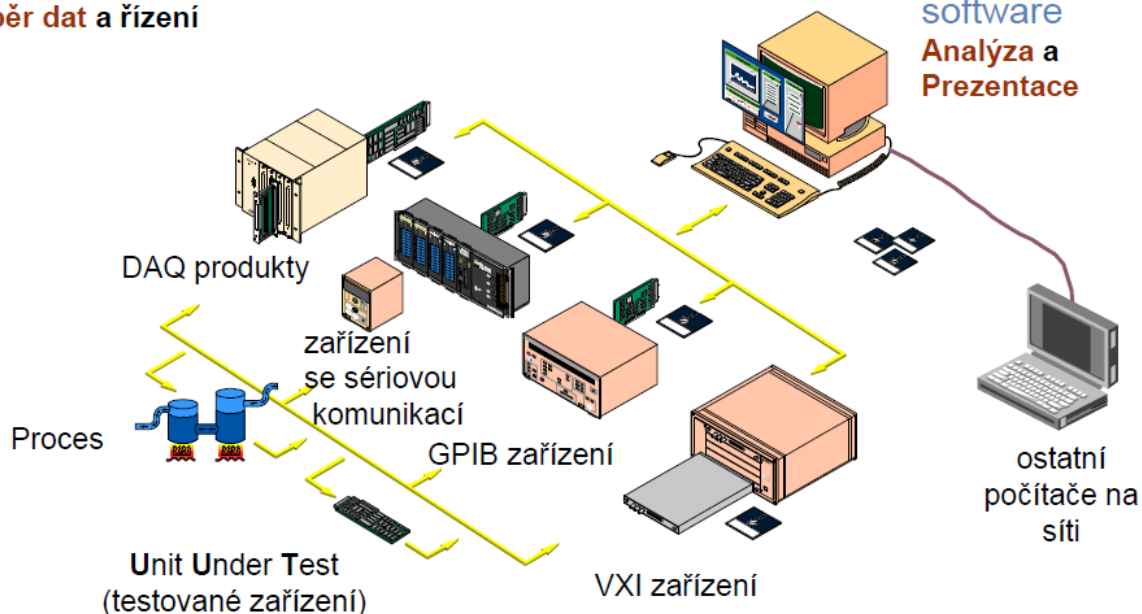
Virtuální instrumentace, také nazývaná virtualizace, je proces tvorby často příliš drahých a nedostupných reálných (hardwarových) přístrojů virtuální (softwarovou) cestou pomocí vhodného programového vybavení (LabVIEW) a univerzální měřicí karty připojitelné k počítači. Tímto procesem tedy můžeme částečně nebo i zcela nahradit velké množství měřicích přístrojů či jiných technických prostředků. Výsledek bývá často mnohem méně časově i finančně náročný a pro obsluhu také uživatelsky velmi přívětivý a názorný.

Pro virtualizaci těchto zařízení budeme v našem případě používat vývojové prostředí LabVIEW 2010 Service Pack 1 spolu s měřicími kartami NI USB-6212 a NI PCI-6221, které jsou běžně dostupné v univerzitní laboratoři. Přestože by zařízení měla být na použité kartě prakticky nezávislá, pro účely našeho testování byly použity výše zmíněné dvě karty od společnosti National Instruments, které se v laboratořích vyskytují nejčastěji. LabVIEW je softwarový produkt stejnojmenné firmy pro tvorbu virtuálních přístrojů, ve kterém se programuje pomocí G (Grafického) programovacího jazyka. Je vhodný pro programování sběru dat z mnoha různých přístrojů, jejich analýzu, zpracování a přehlednou prezentaci uživateli.

2 Měřicí karty

Hardware & Driver Software
Sběr dat a řízení

LabVIEW
software
Analýza a
Prezentace



Obr. 1 Ukázkové schéma měřicího systému [1]

Měřicí karty, jinak nazývané karty pro sběr dat (DAQ = Data Acquisition), jsou přístroje sloužící k měření či generování signálů pomocí počítače. Použitím měřicích karet a vhodného programového vybavení můžeme přímo snímat nebo generovat uživatelsky nastavitelné signály. Počítač se pak může proměnit na celou řadu rozmanitých měřicích přístrojů, což je také cílem v této práci. Pomocí měřicí karty a software LabVIEW vytváříme osciloskop, funkční generátor, multimetr a wattmetr.

Měřicí karty mívají některé z těchto základních funkcí:

- analogové vstupy a výstupy
- digitální vstupy a výstupy
- čítače a časovače

Má-li měřicí karta více z těchto funkcí současně, nazývá se kartou multifunkční. [2]

2.1 Připojení karet k PC

Měřicí karty mohou být k počítači připojovány pomocí několika různých sběrnic:

- a) interní
- b) externí
- c) speciální

Nejrozšířenější jsou PCI a PCI-Express sběrnice, které používají karty u stolních počítačů. Dále se užívá již poněkud zastaralá sběrnice ISA, kterou jsou karty připojovány především k průmyslovým počítačům. Pro výkonnější systémy se používají sběrnice PXI a VXI, jenž využívají speciální vodiče, pomocí kterých je možno přenosem časovacích informací synchronizovat více měřicích karet. Pro snímání či generování dat můžeme využít více kanálů než obvykle. Tyto tři typy sběrnic (PCI, ISA, PXI a VXI) bychom dle způsobu připojení k počítači mohli klasifikovat jako **interní**.

Mezi sběrnice **externí** patří především sběrnice přenosných externích měřicích karet. Řadí se zde např. sběrnice USB nebo FireWire.

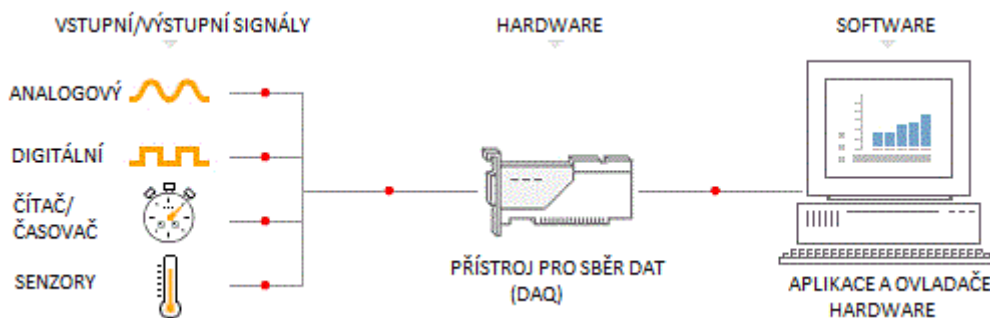
Poslední skupinou jsou sběrnice **speciální pro karty připojované k notebookům a PDA**. Zde patří například sběrnice PCMCIA pro notebooky. Jsou to sběrnice karet určených pro rychlou přenositelnost, popř. práci za chodu.

2.2 Data Acquisition (DAQ)

Data Acquisition je proces pořizování dat vzorkováním signálů, při kterém se měří různé fyzikální veličiny (napětí, proud, frekvence atd.) a vzniklé vzorky se převádějí do digitálního numerického formátu. Vzorky v digitálním formátu mohou být jednoduše upravovány počítačem a zpracovány dle požadavků uživatele na hodnoty jiných (reálných) veličin.

Systémy pro sběr dat (někdy nahrazované zkratkou DAS nebo DAQ) typicky pro jednodušší zpracování převádějí analogový signál na digitální veličiny. Komponenty tohoto systému zahrnují:

- senzor, který převádí fyzické veličiny na elektrický signál
- obvody pro úpravu signálu do stavu, z něhož ho lze převést do digitální formy
- převodník analogového signálu na digitální (A/D), který takto zpracované signály převede na digitální hodnoty [3]

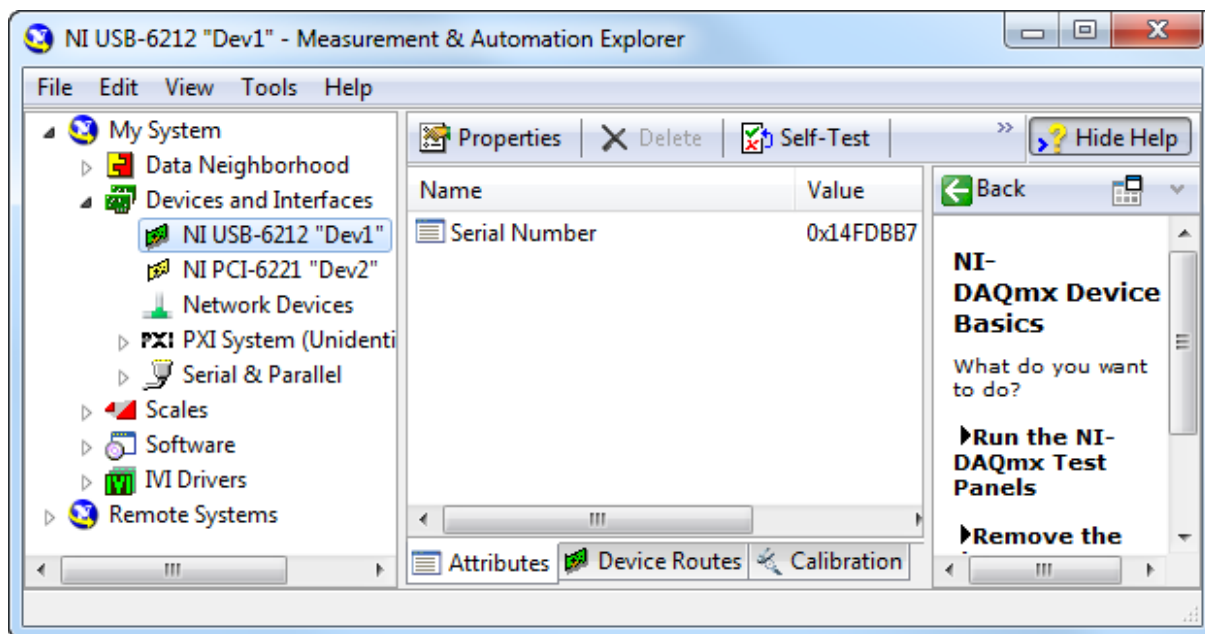


Obr. 2 Sběr dat prostřednictvím DAQ karty a PC [4]

2.3 Utilita MAX pro měřicí karty v prostředí LabVIEW

Vývojový systém LabVIEW spoléhá na to, že fyzikální signály, jakou jsou napětí, proud, teplota, obraz, atd., jsou do počítače přiváděny nebo naopak z něj vyváděny pomocí specifického hardwarového vybavení (př. měřicí karty), které využívá softwarový ovladač (tzv. driver). Ovladač měřicí karty slouží jak k operaci hardwarových částí karty, tak i k její konfiguraci a nastavení jejich datových kanálů. U měřicích karet firmy National Instruments se tento ovladač nazývá NI-DAQmx (jedná se o vylepšenou verzi staršího ovladače NI-DAQ) a je obvykle dodáván na CD společně s měřicí kartou. Je ho možné rovněž stáhnout v sekci pro podporu na internetových stránkách National Instruments. [5]

V operačním systému Windows slouží pro konfiguraci měřicí karty utilita Measurement & Automation Explorer (viz. Obr. 3). Measurement & Automation Explorer (MAX) si v registrech Windows přečte z jejich ovladačů informace o aktuálně připojených kartách a pro zjednodušení práce jim přiřadí přehledné a logické jméno (např. Dev1, Dev2,...). Pomocí těchto jmen pak můžeme v prostředí LabVIEW k těmto kartám přistupovat. Při operaci s kartou LabVIEW pošle MAX dotaz na kartu s určitým jménem a je-li v MAX platně registrována, provede danou operaci. MAX je také nástroj pro konfiguraci a detailnější nastavení karet. Můžeme zde provést kalibrace, nastavit startovací úrovně na výstupech, ale i provést širokou škálu testů. Ať už se jedná o jednoduché self-testy (test základní funkčnosti) nebo složitější testy jednotlivých analogových či digitálních vstupů/výstupů a čítačů.



Obr. 3 Ukázka správně připojené měřicí karty v utilitě MAX u LabVIEW

2.4 Měřicí karta NI USB-6212

Měřicí karta NI USB-6212 je jedna z relativně pokročilejších externích měřicích jednotek, která se připojuje k počítači pomocí USB sběrnice. Přesněji se jedná o multifunkční modul pro sběr dat (DAQ) třídy M, který je optimalizován pro vysokou úroveň přesnosti i při vysokých vzorkovacích rychlostech.

NI USB-6212 je karta navržená především pro mobilní (přenosné) aplikace a aplikace s omezeným prostorem pro práci. Technologie Plug & Play zajišťuje rychlost a jednoduchost instalace zařízení. Měřicí karta také nevyžaduje externí napájecí adaptér, napájení si bere z počítače přes USB port.

Hardwarové vybavení zahrnuje 16 analogových vstupů se vzorkovací rychlostí až 400 kS/s a dva analogové výstupy. Dále 32 digitálních vstupně-výstupních linek, 4 programovatelné vstupní rozsahy, digitální triggering a dva čítače/časovače. [6]



Obr. 4 Čelní pohled na měřicí kartu NI USB-6212 [6]

2.4.1 Specifikace karty

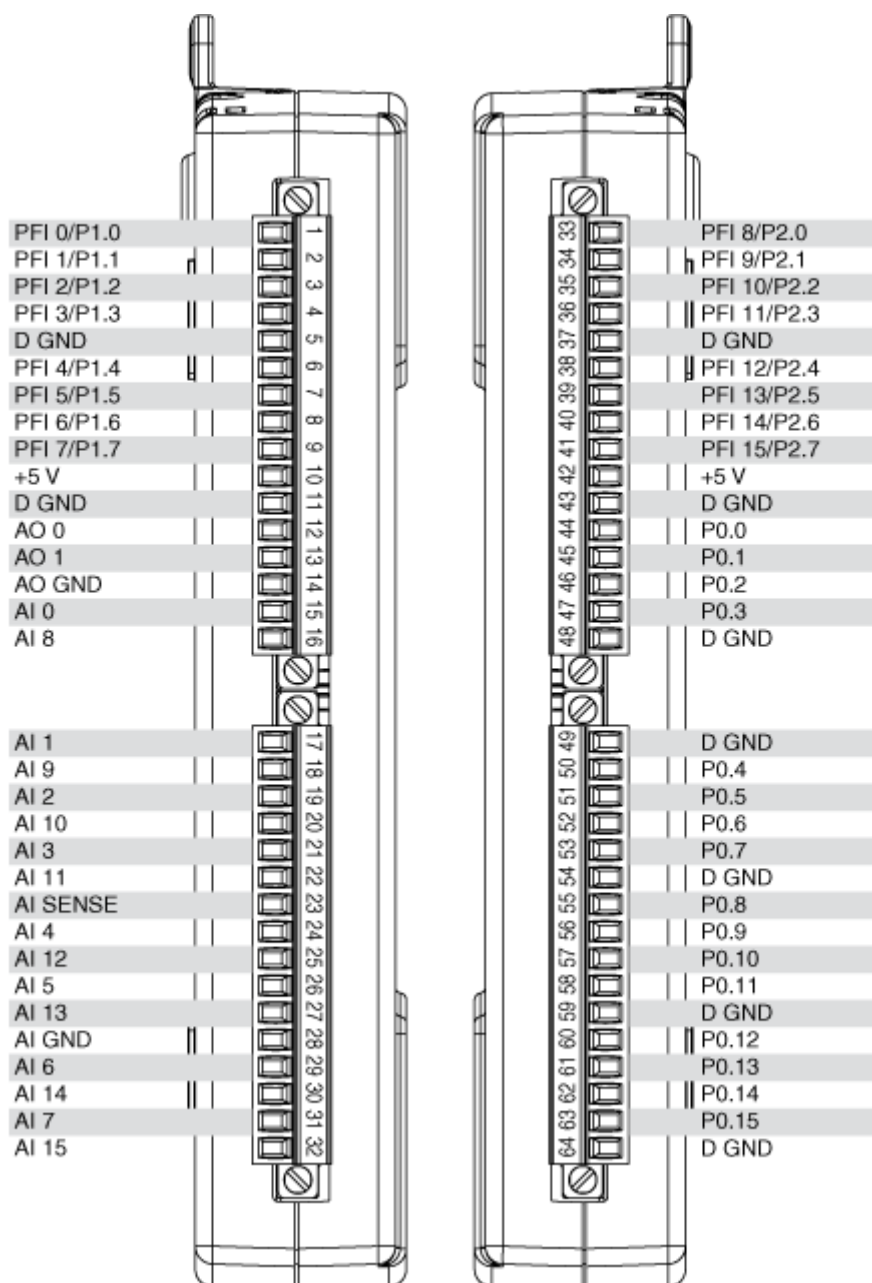
Obecné parametry	
Název produktu	USB-6212
Výrobce	National Instruments
Klasifikace zařízení	Multifunkční DAQ karta
Použitá sběrnice	Universal Serial Bus (USB)
Třída DAQ	Série M
Měřené fyzikální veličiny	Napětí
Cílový operační systém	Windows

Analogové vstupy	
Počet kanálů	16, 8
Diferenciálních kanálů	8
Jednopolových kanálů	16
Vzorkovací rychlost	400 kS/s
Rozlišení A/D převodníku	16 bitů
Napěťový rozsah na vstupu	$\pm 10\text{ V}$, $\pm 5\text{ V}$, $\pm 1\text{ V}$, $\pm 0,2\text{ V}$
On-Board FIFO buffer	4095 vzorků
Přepětová ochrana	$\pm 30\text{ V}$ na až 2 AI pinech
Analogové výstupy	
Počet kanálů	2
Max. rychlost aktualizace signálu	250 kS/s
Rozlišení D/A převodníku	16 bitů
Napěťový rozsah na výstupu	$\pm 10\text{ V}$
Digitální vstupy/výstupy	
Počet obousměrných kanálů	32
Logické úrovně	TTL
Časování	Softwarové
Max. napěťový rozsah na vstupu	0 - 5,25 V
Max. napěťový rozsah na výstupu	0 - 3,8 V
Podpora Power-Up stavů pinů	ano
Přepětová ochrana	$\pm 20\text{ V}$ na až 8 pinech
Čítače/časovače	
Počet čítačů	2
Logické úrovně	TTL
Rozlišení	32 bitů
Max. napěťový rozsah	0 - 5,25 V
Max. zdrojová frekvence	80 MHz
Generování pulzů	ano

Tab. 1 Specifikace karty NI USB-6212 [6]

2.4.2 Rozložení pinů (pinout)

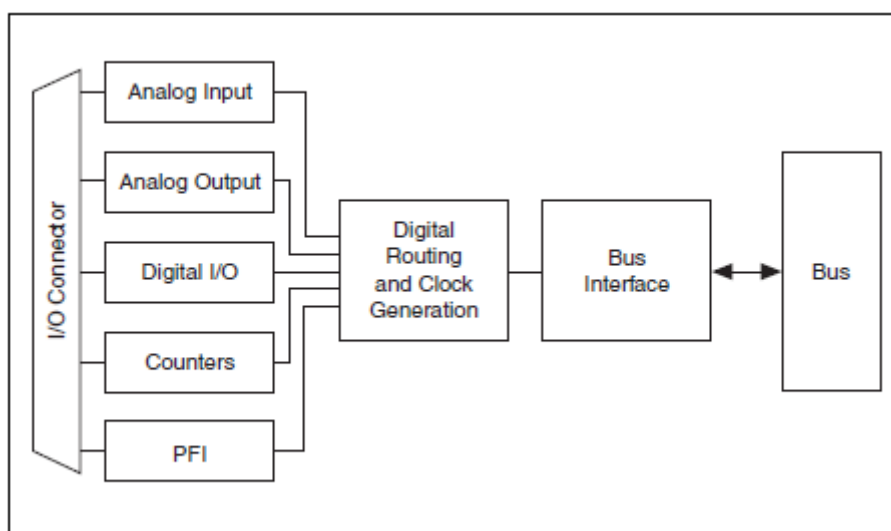
Na Obr. 5 můžeme vidět rozložení vstupně-výstupních (I/O) pinů, na kterých jsou vyvedeny jednotlivé funkce karty. Piny jsou umístěny na odnímatelných plastových úchytech po obou stranách měřicí karty. Externí dráty, vedoucí k měřeným místům v obvodech, jsou k měřicí kartě připevněny prostřednictvím jednoduchého šroubovacího mechanismu, kde uvolníme šroub, vložíme do vzniklé mezery drát a šroub utáhneme.



Obr. 5 Rozložení pinů měřicí karty NI USB-6212 [7]

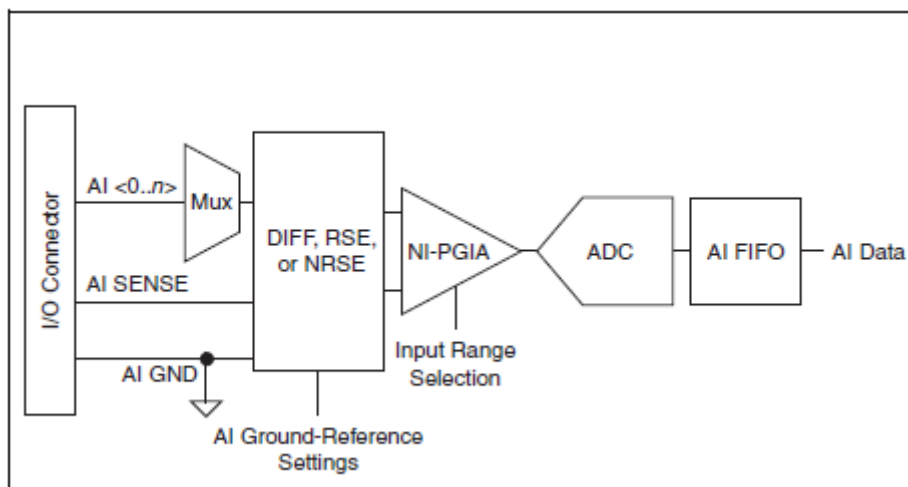
2.4.3 Vnitřní struktura

Na Obr. 6 můžeme vidět zjednodušený blokový diagram měřicí karty NI USB-6212. Lze zde přehledně vidět, jak jsou různé funkční prvky karty (analogové I/O, digitální I/O, čítače/časovače) vyvedené na jednotlivé piny, k nimž může uživatel připojovat externí vodiče. Tyto funkční prvky jsou do jádra měřicí karty přiváděny pomocí digitálního směrování. V tomto bloku dochází zároveň ke generování interního hodinového signálu, který se využívá ke generování signálu či jeho měření pomocí vzorkování. Poslední dva bloky reprezentují sběrnici vedoucí k počítači (zde USB) a rozhraní, které tuto sběrnici ke kartě připojuje.



Obr. 6 Blokový diagram měřicí karty [7]

Analogové vstupy



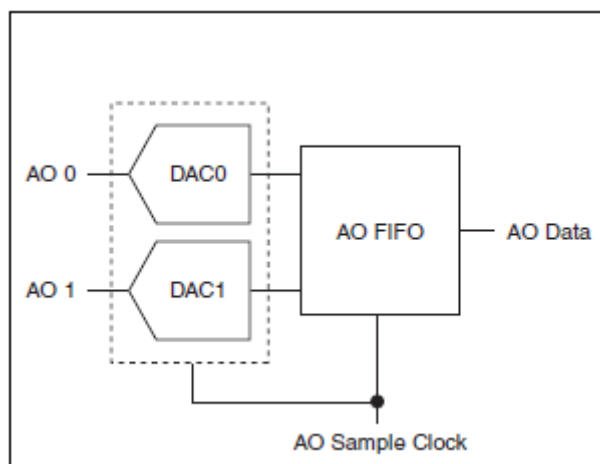
Obr. 7 Blokový diagram analogových vstupů [7]

Na Obr. 7 vidíme blokový diagram reprezentující vnitřní strukturu analogového vstupu.

Skládá se z těchto částí: [7]

- **I/O Connector** – Je to vstupně-výstupní konektor, pomocí kterého přivádíme analogové vstupní signály na měřicí kartu. Metoda připojení těchto signálů závisí na nastavení v části *AI Ground-Reference Settings*.
- **Mux** – Každá měřicí karta USB-6212 má vždy jeden převodník analogového signálu na digitální (ADC). Multiplexery (MUX) střídavě přivádějí jeden po jednom jednotlivé AI (Analog Input) kanály na *A/D převodník* skrz prvek *NI-PGIA*.
- **AI Ground-Reference Settings** – Tímto obvodem vybíráme mezi diferenciálním (DIFF), referencovaným jednopólovým (RSE) nebo nerefencovaným jednopólovým (NRSE) módem.
- **NI-PGIA** – Je to programovatelný zesilovač. Tento zesilovač může zesílit nebo zeslabit vstupní analogový signál tak, abychom dosáhli maximálního možného rozlišení pro A/D převodník.
- **ADC** – Je to převodník analogového signálu na digitální, který digitalizuje signály prostřednictvím převodu analogového napětí na digitální hodnotu.
- **AI FIFO** – Jedná se o velký First-in-First-out buffer, do něhož se ukládají data v průběhu měření. To slouží především k prevenci ztráty dat.

Analogové výstupy



Obr. 8 Blokový diagram analogových výstupů [7]

Na Obr. 8 vidíme blokový diagram reprezentující vnitřní strukturu analogového výstupu.

Skládá se z těchto částí: [7]

- **DAC0 a DAC1** – Převodníky digitálního signálu na analogový. Převádí digitální hodnoty na analogové napětí.

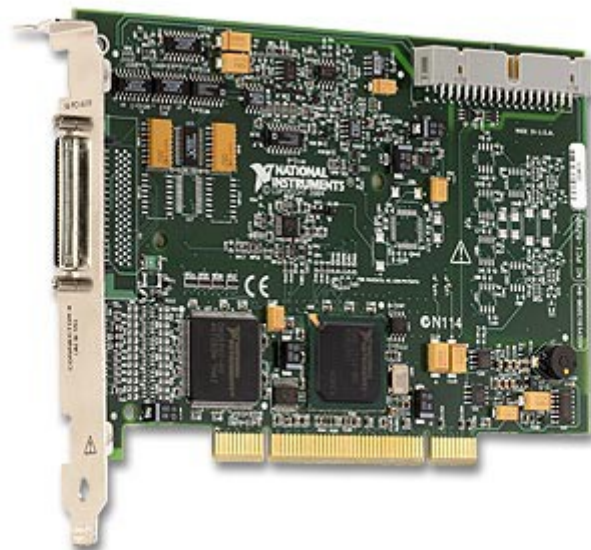
- **AO FIFO** – Jedná se o First-in-First-out paměťový buffer mezi počítačem a D/A převodníkem. Při generaci výstupního analogového signálu ukládá data do bufferu, odkud si je čte měřicí karta a generuje signál. Umožňuje čtení výstupních dat kartou bez nutné interakce s počítačem.
- **AO Sample Clock** – taktovací signál, při kterém se přečtou data z FIFO bufferu, a vygeneruje výstupní analogové napětí.

2.5 Měřicí karta NI PCI-6221

Měřicí karta NI PCI-6221 patří mezi pokročilejší interní měřicí jednotky a to i přesto, že oproti kartě NI USB-6212 se jedná o starší model. Jak je u desktopových měřicích karet zvykem, k počítači se připojuje prostřednictvím sběrnice PCI. Jedná se o multifunkční modul pro sběr dat (DAQ) třídy M v nižší cenové úrovni, který je optimalizován pro cenově nenákladné aplikace.

Tato relativně levná měřicí karta zahrnuje pokročilé funkce, jako jsou systémový řadič NI-STC 2, programovatelný zesilovač NI-PGIA2 a kalibrační technologii NI-MCal, aby se zvýšila výkonnost a přesnost karty.

Hardwarové vybavení zahrnuje 16 analogových vstupů se vzorkovací rychlostí až 250 kS/s a dva analogové výstupy. Dále 24 digitálních vstupně-výstupních linek, 4 programovatelné vstupní rozsahy, digitální triggering a dva čítače/časovače. [8]



Obr. 9 Čelní pohled na měřicí kartu NI PCI-6221 [8]

2.5.1 Specifikace karty

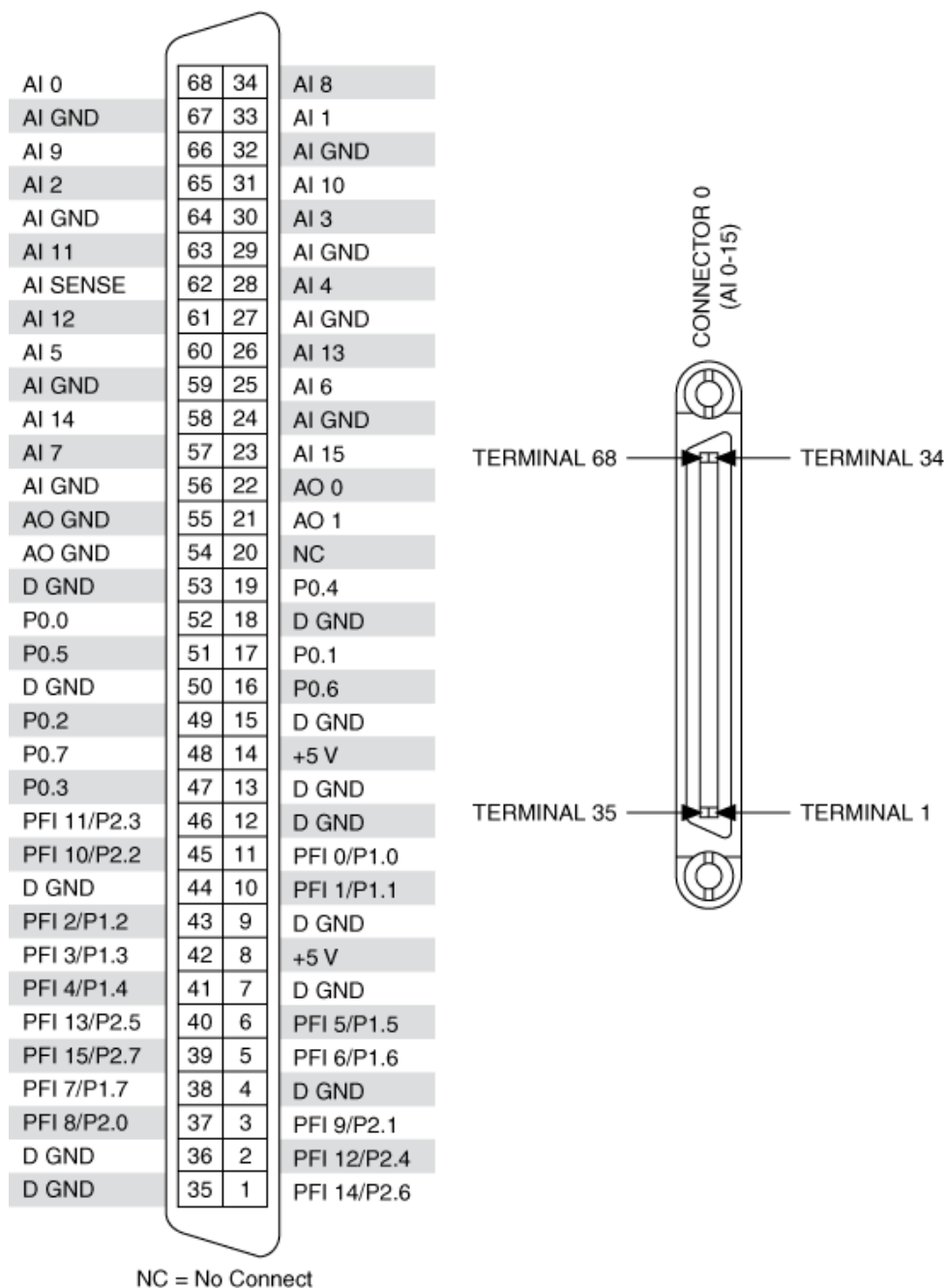
Obecné parametry	
Název produktu	PCI-6221
Výrobce	National Instruments
Klasifikace zařízení	Multifunkční DAQ karta
Použitá sběrnice	Peripheral Component Interconnect (PCI)
Třída DAQ	Série M
Měřené fyzikální veličiny	Napětí, frekvence
Cílový operační systém	Windows, Linux, Mac OS, Real-Time
Analogové vstupy	
Počet kanálů	16, 8
Diferenciálních kanálů	8
Jednopolových kanálů	16
Vzorkovací rychlost	250 kS/s
Rozlišení A/D převodníku	16 bitů
Napětový rozsah na vstupu	$\pm 10\text{ V}$, $\pm 5\text{ V}$, $\pm 1\text{ V}$, $\pm 0,2\text{ V}$
On-Board FIFO buffer	4095 vzorků
Přepětová ochrana	$\pm 25\text{ V}$ na až 2 AI pinech
Analogové výstupy	
Počet kanálů	2
Max. rychlost aktualizace signálu	833 kS/s
Rozlišení D/A převodníku	16 bitů
Napětový rozsah na výstupu	$\pm 10\text{ V}$
Digitální vstupy/výstupy	
Počet obousměrných kanálů	24
Logické úrovně	TTL
Časování	Softwarové, Hardwarové
Max. napětový rozsah na vstupu	0 - 5 V
Max. napětový rozsah na výstupu	0 - 5 V
Podpora Power-Up stavů pinů	ano
Přepětová ochrana	ne

Čítače/časovače	
Počet čítačů	2
Logické úrovně	TTL
Rozlišení	32 bitů
Max. napěťový rozsah	0 - 5 V
Max. zdrojová frekvence	80 MHz
Generování pulzů	ano

Tab. 2 Specifikace karty NI PCI-6221 [8]

2.5.2 Rozložení pinů (pinout)

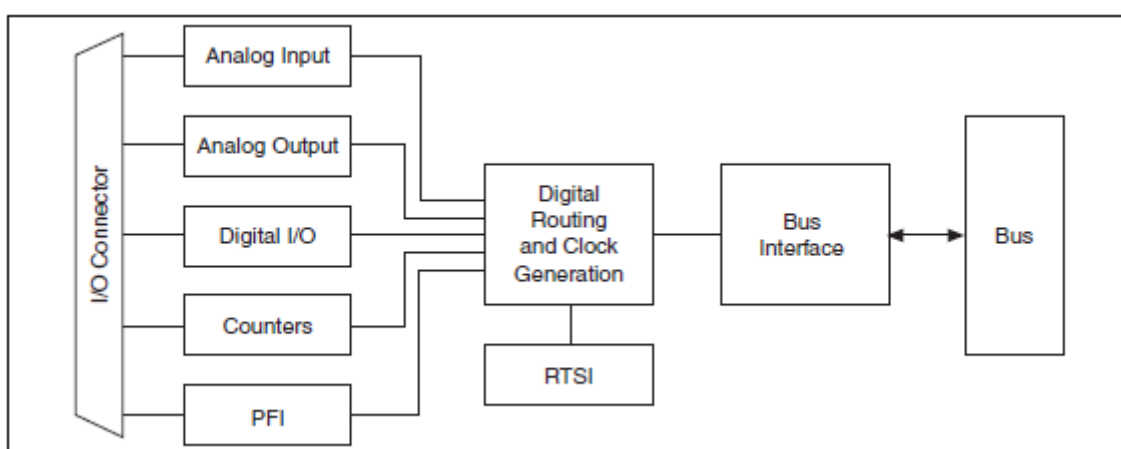
Na Obr. 10 lze vidět rozložení vstupně-výstupních (I/O) pinů na konektoru měřicí karty. Na pinech jsou vyvedeny jednotlivé funkce karty. Pomocí speciálního propojovacího kabelu, lze kartu propojit se samostatně dokoupitelnou pomocnou deskou. Hlavní část desky zabírá upravené nepájivé pole, na které je možno vyvést jednotlivé piny měřicí karty. Naskytne se nám tak možnost připojovat různá dodatečná zařízení a součástky.



Obr. 10 Rozložení pinů měřicí karty NI PCI-6221 [9]

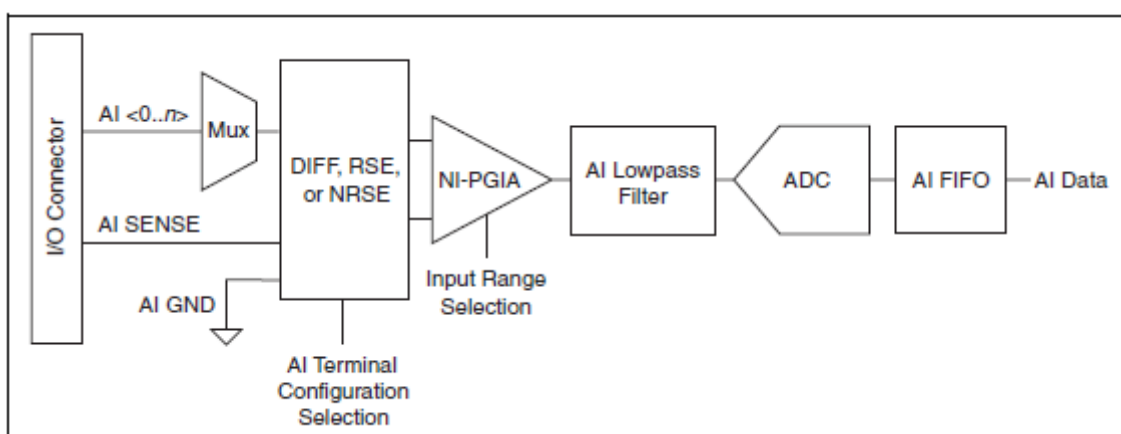
2.5.3 Vnitřní struktura

Na Obr. 11 můžeme vidět zjednodušený blokový diagram měřicí karty NI PCI-6221. Stejně jako u předchozí karty zde vidíme, jak jsou různé funkční prvky karty (analogové I/O, digitální I/O, čítače/časovače) vyvedené na jednotlivé piny konektoru, přes který může uživatel připojovat propojovacím kabelem speciální desku s nepájivým polem. Tyto funkční prvky jsou do jádra měřicí karty přiváděny pomocí digitálního směrování. V tomto bloku dochází zároveň ke generování interního hodinového signálu, který se využívá ke generování signálu či jeho měření pomocí vzorkování. V bloku lze také vidět vývod na sběrnici pro synchronizaci hodinových impulsů (RTSI). Poslední dva bloky reprezentují sběrnici vedoucí k počítači (zde USB) a rozhraní, které tuto sběrnici ke kartě připojuje.



Obr. 11 Blokový diagram měřicí karty [9]

Analogové vstupy



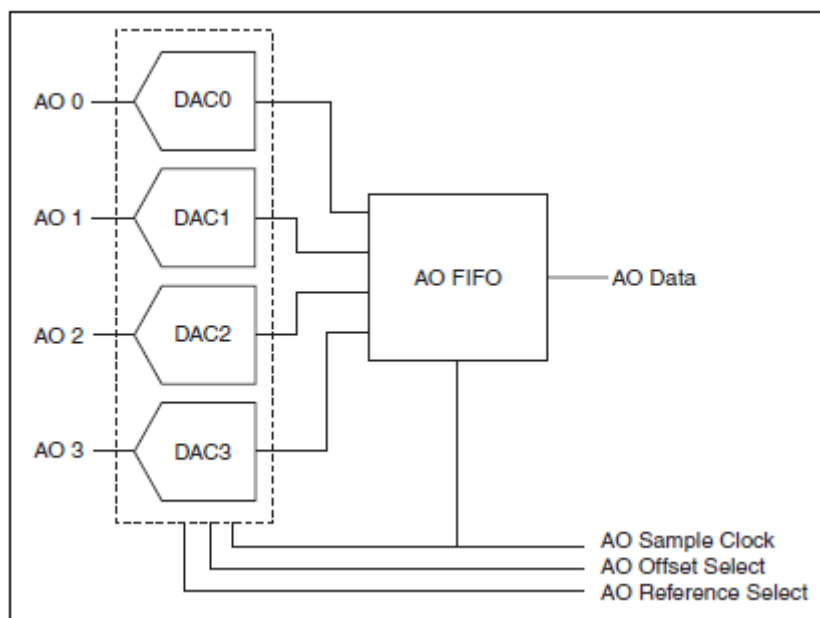
Obr. 12 Blokový diagram analogových vstupů [9]

Blokový diagram na Obr. 12 reprezentuje vnitřní strukturu analogového vstupu.

Skládá se z těchto částí: [9]

- **I/O Connector** – Vstupně-výstupní konektor, pomocí něhož přivádíme analogové vstupní signály na měřicí kartu. Metoda připojení těchto signálů závisí na nastavení v části *AI Ground-Reference Settings*.
- **Mux** – Každá měřicí karta série M má vždy jeden převodník analogového signálu na digitální (ADC). Multiplexery (MUX) střídavě přivádějí jeden po jednom jednotlivé AI (Analog Input) kanály na *A/D převodník* skrz prvek *NI-PGIA*.
- **Ground-Reference Settings** – Obvod pro nastavení reference na GND (zemi), který vybírá mezi diferenciálním (DIFF), referencovaným jednopólovým (RSE) nebo nereferencovaným jednopólovým (NRSE) módem. Každý vstupní kanál může používat rozdílný mód.
- **Instrumentation Amplifier (NI-PGIA)** – Je to programovatelný zesilovač. Tento zesilovač může zesílit nebo zeslabit vstupní analogový signál tak, abychom dosáhli maximálního možného rozlišení pro A/D převodník. Minimalizuje také ustalovací dobu pro všechny vstupní rozsahy.
- **AI Lowpass Filter** – Filtr dolní propusti pro stabilizaci a vyčištění signálu.
- **ADC** – Je to převodník analogového signálu na digitální, který digitalizuje signály prostřednictvím převodu analogového napětí na digitální hodnotu.
- **AI FIFO** – Jedná se o velký First-in-First-out buffer, do něhož se ukládají data v průběhu měření. To slouží především k prevenci ztráty dat.

Analogové výstupy



Obr. 13 Blokový diagram analogových výstupů [9]

Na Obr. 13 lze vidět blokový diagram reprezentující vnitřní strukturu analogového výstupu.

Skládá se z těchto částí: [9]

- **DAC0-3** – Převodníky digitálního signálu na analogový. Převádí kódy digitálních hodnot na analogové napětí.
- **AO FIFO** – Jedná se o First-in-First-out paměťový buffer mezi počítačem a D/A převodníkem. Při generaci výstupního analogového signálu ukládá data do bufferu, odkud si je čte měřicí karta a generuje signál. Umožňuje čtení výstupních dat kartou bez nutné interakce s počítačem.
- **AO Sample Clock** – Jde o signál, při kterém se přečtou data z FIFO bufferu, a vygeneruje výstupní analogové napětí.
- **AO Offset a AO Reference Selection** – Tyto signály nám umožňují změnit napětové rozsahy analogových výstupů.

3 Vývojové prostředí LabVIEW

Programovací vývojové prostředí LabVIEW (zkratka pro anglické Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) neboli „laboratorní pracovní stůl pro budování virtuálních přístrojů,“ je produktem americké firmy National Instruments (NI), která je průkopníkem a největším výrobcem v oblasti virtuální instrumentace. Jedná se o prostředí k vytváření programů ve formě blokových diagramů prostřednictvím grafického programovacího jazyka.

Tento grafický jazyk, někdy též nazývaný G-jazyk, je vhodný nejen ke tvorbě přístrojů pro měření a analýzu signálu, ale i k programování různých složitých systémů, jako je třeba robot (viz. robotická stavebnice LEGO® MINDSTORMS® NXT) nebo urychlovač částic LHC v CERNu.

Prostředí obsahuje mnoho knihoven pro analýzu a sběr dat. Data mohou být získána z měřicích karet, ale i z různých měřicích přístrojů prostřednictvím sériového či paralelního rozhraní. Zahrnuje přes 600 oficiálních (a mnoho dalších neoficiálních - SourceForge, LAVA) ovladačů pro všemožné měřicí přístroje. Umožňuje rovněž i síťovou komunikaci přes protokol TCP/IP. Od verze Express je způsob konfigurace a komunikace s měřicím hardwarem jednoduchý. Zvládne ji i úplný začátečník. [10]

3.1 Krátká historie

Tvorba programovacího prostředí LabVIEW byla započata v dubnu roku 1983. První verze vyšla již koncem roku 1986 a byla zaměřená pro počítače Macintosh. Další verze vycházely pouze na této platformě až do poloviny roku 1992, kdy vyšlo LabVIEW 2.5 pro Sun OS a Windows. Mezi další významné verze patří také verze LabVIEW RT (RealTime) z roku 1999 pro operační systémy reálného času (RTOS) a již předem zmíněná verze LabVIEW 7.0 (Express), která v roce 2003 představila uživatelsky přívětivé prostředí pro komunikaci s hardware. Dále následovala tvorba dnes již rozšířených modulů pro přenosné počítače PDA (rok 2003) a programovatelné hradlové pole FPGA (rok 2003). Nakonec vznikla v roce 2010 verze LabVIEW 2010 (32 i 64 bitová). Rok poté vydalo NI rozšiřující balíček Service Pack 1 obsahující novější ovladače k měřicím kartám. V dnešní době již také existuje nová verze LabVIEW 2011. [11]

3.2 Dataflow programování

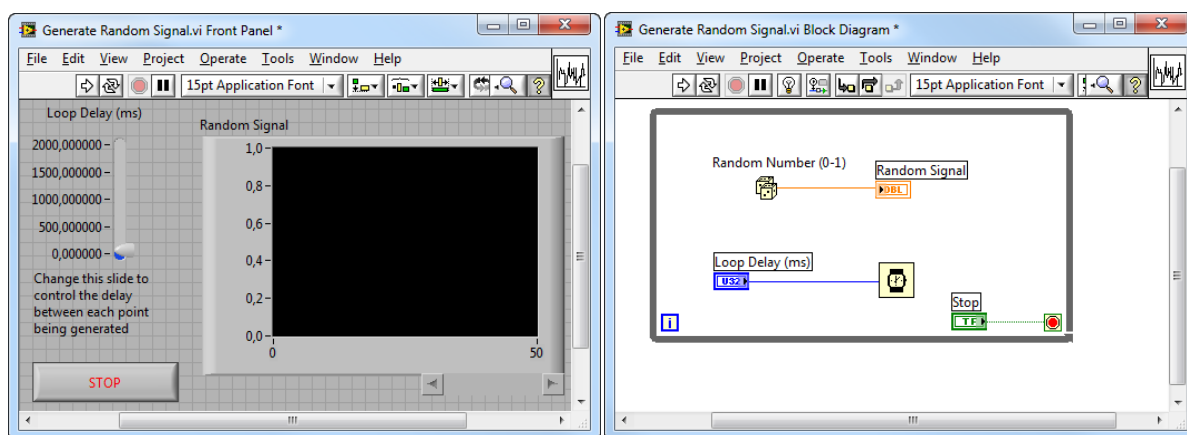
Programovací jazyk G, který je používán v LabVIEW, je takzvaný Dataflow programovací jazyk (v překladu - „programovací jazyk využívající datové toky“). Průběh programu je dán strukturou blokového diagramu (tj. zdrojovým kódem LabVIEW), ve kterém programátor pomocí spojů propojuje různé funkční bloky. Prostřednictvím spojů dochází k předávání dat (hodnot) mezi bloky. Každý funkční blok se spustí ihned s přivedením všech potřebných vstupních hodnot.

Jazyk G je zároveň nativně schopný paralelní exekuce kódu, takže při splnění výše zmiňovaných podmínek, může dojít k provádění více funkčních bloků souběžně. Vestavěný Scheduler LabVIEW (plánovač vykonávání kódu) je zároveň schopen, pokud to hostitelský počítač dovoluje, automaticky využívat multi-processing a multi-threading. Scheduler v tom případě multiplexováním užívá více vláken operačního systému pro vykonání připravených funkčních bloků (tj. subVI). [11]

3.3 Grafické programování

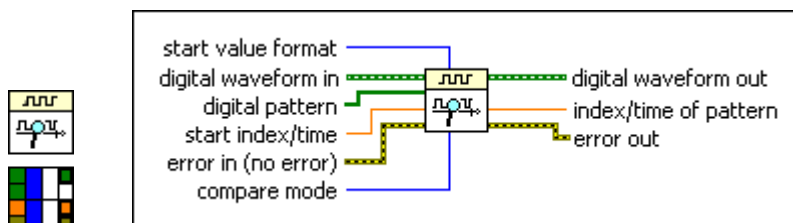
LabVIEW provazuje tvorbu uživatelského rozhraní do vývojového procesu. Toto uživatelské rozhraní obvykle má podobu měřicího přístroje, což je také jeden z důvodů, proč se programy a podprogramy v tomto vývojovém prostředí nazývají zdánlivý (virtuální) přístroj - Virtual Instrument (VI).

Každý virtuální přístroj se skládá ze tří komponent: z **uživatelského rozhraní** (viz. Obr. 14 vlevo), kterému se v terminologii LabVIEW říká čelní panel (překlad z angl. Front Panel), z **blokového diagramu** (z angl. Block Diagram; viz. Obr. 14 vpravo), který je zdrojovým kódem VI a z **konektorového panelu**, který reprezentuje VI v blokových diagramech jiných VI (v tomto případě VI funguje jako podprogram = subVI).



Obr. 14 Vzorový program v LabVIEW

Do uživatelského rozhraní (Front Panelu) může programátor vkládat dva hlavní typy prvků - **ovládací prvky** a **indikátory**. Ovládací prvky (z angl. Controls) a indikátory (z angl. Indicators) umožňují operátorovi virtuálního přístroje na čelním panelu vkládat data nebo je naopak z běžícího přístroje odečítat. Čelní panel může ale i fungovat jako programové rozhraní. Virtuální přístroj tedy může být spuštěn jako program, kde čelní panel představuje uživatelské rozhraní nebo jako funkční blok (subVI), jež vkládáme do blokového diagramu jiného VI. V případě užití programu jako subVI, čelní panel definuje jeho vstupy a výstupy skrze konektorový panel (viz. Obr. 15).



Obr. 15 Vzorové subVI (vlevo - ikona a konektorový panel, vpravo - vzhled subVI v blokovém diagramu s popsánymi vstupy/výstupy)

Grafické programování umožňuje méně zkušeným programátorům ale i neprogramátorům, jednoduše tvořit programy přetahováním (metodou Drag & Drop) virtuálních reprezentací laboratorního vybavení. Vývojové prostředí LabVIEW navíc zahrnuje mnoho vzorových programů a rozsáhlou dokumentaci prvků, která tvorbu programů značně zjednoduší. Tvorba jednoduchých aplikací je relativně nenáročná, ale pro tvorbu pokročilejších aplikací s komplexními algoritmy a kódem je třeba mít rozsáhlou znalost syntaxe jazyka G pro LabVIEW i jeho metody pro spravování paměti (tzv. Memory Management).

Pokročilejší prvky vývojového prostředí LabVIEW, jako např. balíčky Real-Time, Robotics, FPGA, ARM, Application Builder atd., nám poskytují možnost tvorby nezávislých (Stand-Alone) aplikací, rozsáhlých distribuovaných aplikací, jenž komunikuje pomocí schématu klient - server, dále aplikace pro PDA, pro mikroprocesory ARM a FPGA a mnoho dalších. [11]

4 Funkční generátor

Funkční generátor je první ze sady čtyř měřicích pomůcek, které budeme vytvářet v této práci. Jako jediný z této sady nástrojů slouží pro generování signálů a nikoliv k jejich měření. Prostřednictvím tohoto programu a jednoduchým propojením výstupu, na kterém se signál na měřicí kartě generuje, se vstupem, na kterém budeme později měřit, získáme jednoduchou zpětnou kontrolu funkčnosti pozdějších programů (osciloskopu, multimetru, wattmetru).

4.1 Popis přístroje

Funkční generátor je elektronické zařízení nebo softwarová aplikace pro generování různých druhů signálů o širokém rozsahu frekvencí. Je to zařízení, které generuje periodické signály (analogové nebo digitální). Nejčastěji se užívá pro návrh, testování, hledání závad a opravu elektronických a elektroakustických zařízení.

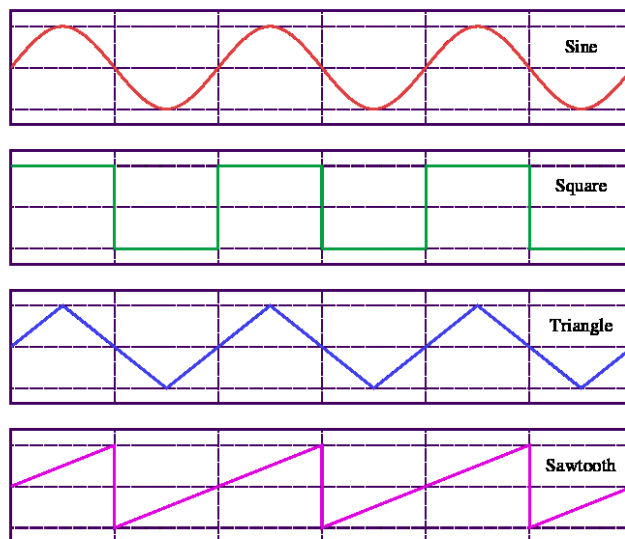
Existuje mnoho druhů funkčních generátorů s různými účely a způsoby užití. Obecně však není žádné zařízení vhodné pro všechny možné metody upotřebení. Tradičně se funkční generátory vyskytují ve formě hardwarových přístrojů, ale v dnešní době multimediálních počítačů jsou častější softwarové realizace tohoto nástroje.



Obr. 16 Funkční generátor [12]

Generátor obsahuje tzv. elektronický oscilátor, což je obvod umožňující generování periodických signálů (z angl. Waveform). Modernější verze užívají metodu generování signálu prostřednictvím syntetizace signálů pomocí digitálního zpracování signálu a následovného převodu

z digitálního signálu na analogový použitím D/A převodníku. Nejčastější generované signály jsou sinusové průběhy, obdélník, trojúhelník a pila (viz. Obr. 17). [13]



Obr. 17 Nejčastější tvary signálů [14]

4.2 Realizace v LabVIEW

4.2.1 Předpokládané funkce

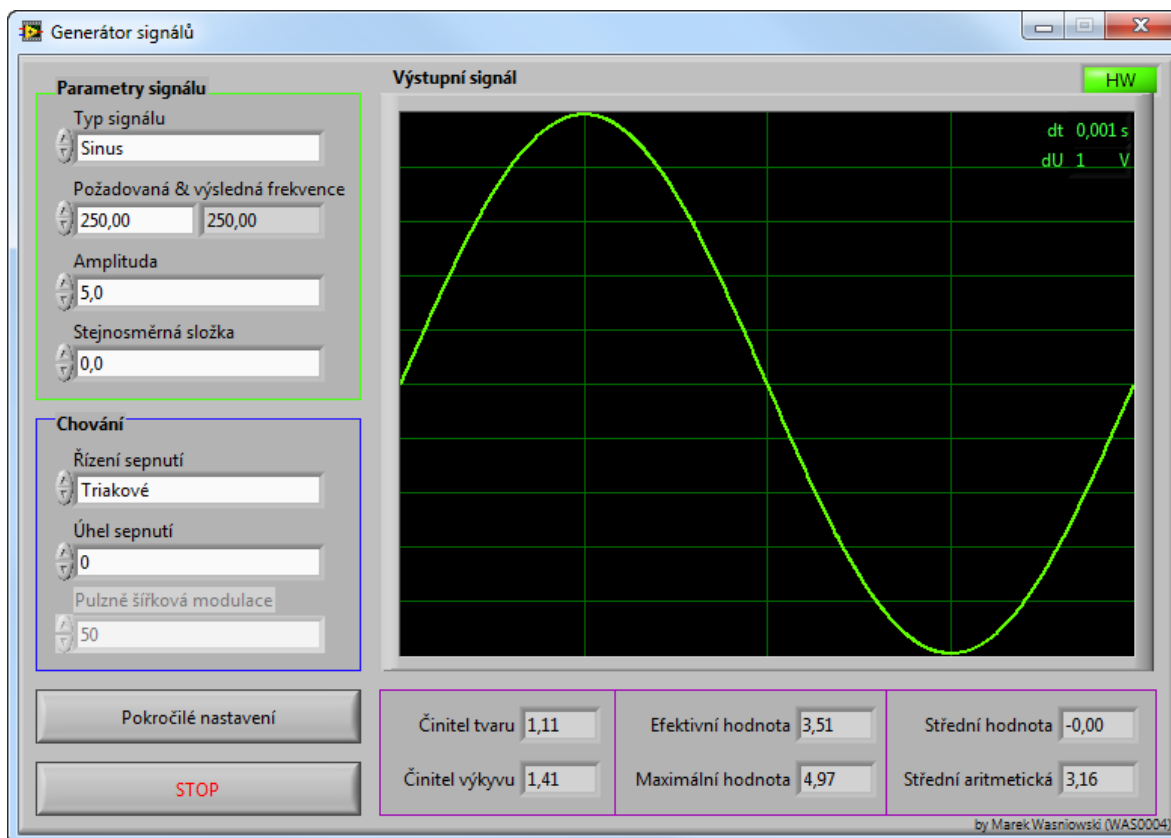
Simulovaný funkční generátor, který se snažíme v této práci vytvořit, má definované určité požadavky na funkčnost.

Požadované funkce jsou:

- zařízení může pracovat v reálném (HW) i simulovaném (SW) režimu
- možnost generovat více tvarů signálů, konkrétně
 - sinus
 - trojúhelník
 - obdélník
 - unipolární (CMOS) obdélník
 - pila
- volba frekvence generovaného signálu
- volba velikosti amplitudy
- volba velikosti stejnosměrné (DC) složky signálu
- u sinusového průběhu lze navolit
 - triakové nebo tyristorové řízení sepnutí
 - úhel, ve kterém dojde k sepnutí signálu
- u obdélníku a unipolárního obdélníku lze navolit velikost pulzně šířkové modulace (PWM), tj. střídý

4.2.2 Uživatelské rozhraní (Front Panel)

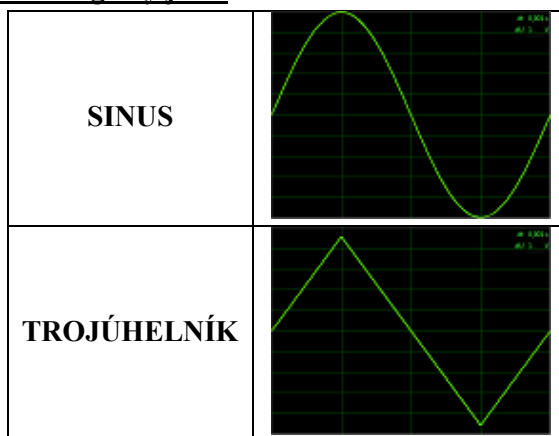
Čelní panel (Front Panel) je tvořen těmito bloky – **Parametry signálu**, **Chování**, **Výstupní signál**, **indikátory** a **řídící tlačítka**.

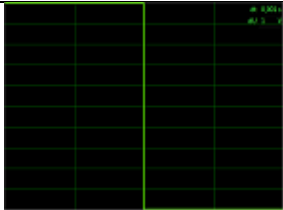
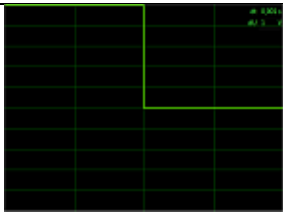
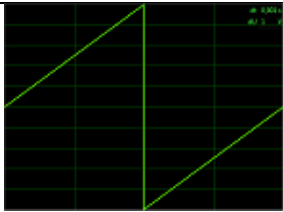


Obr. 18 Čelní panel funkčního generátoru

V levém horním rohu vidíme blok **Parametry signálu**, v němž můžeme měnit typ (tvar) generovaného signálu, jeho frekvenci (vpravo od volby frekvence je i indikátor reálné frekvence na měřicí kartě, ať vidíme, zda karta správně generuje signál o zadané frekvenci), amplitudu signálu a stejnosměrnou DC složku signálu (jeho vertikální posun).

Volitelné signály jsou:

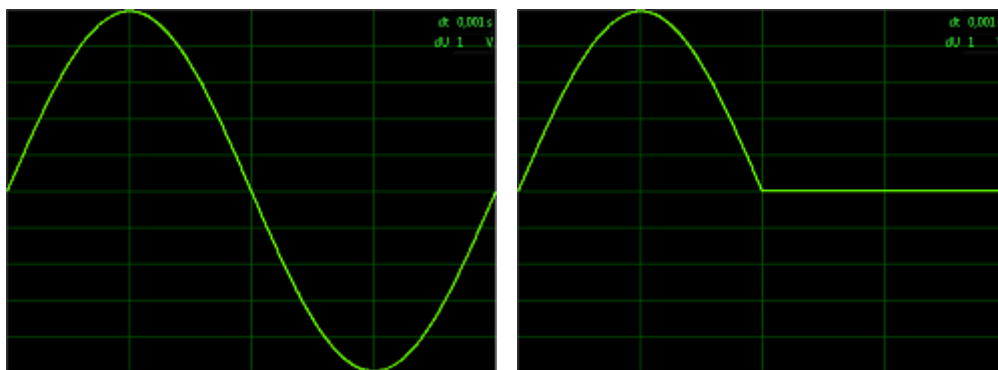


OOBDÉLNÍK	
UNIPOLÁRNÍ OBDÉLNÍK	
PILA	

Tab. 3 Typy signálů

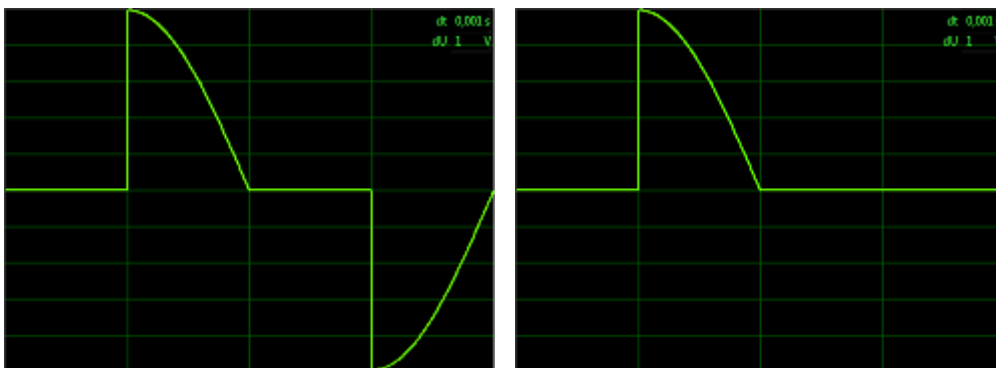
Pod blokem **Parametry signálu** je blok **Chování**, ve kterém můžeme dodatečně upravit vlastnosti některých signálů.

Pro sinusové signály lze řídit sepnutí a nastavovat jeho úhel. Tyto dvě volby jsou spolu provázány. Řízení sepnutí může být triakové a tyristorové, kde hlavní rozdíl mezi nimi spočívá v tom, že tyristorové sepnutí změní všechny záporné hodnoty na nulu (viz. Obr. 19).



Obr. 19 Triakové a tyristorové spínání při úhlu sepnutí 0°

Při změně úhlu sepnutí měníme velikost úhlu, od něhož se sinusový průběh začne vykreslovat. Před tímto úhlem je jeho úroveň na nule. Na Obr. 20 je vzorově znázorněno triakové i tyristorové spínání pro úhel 90° .



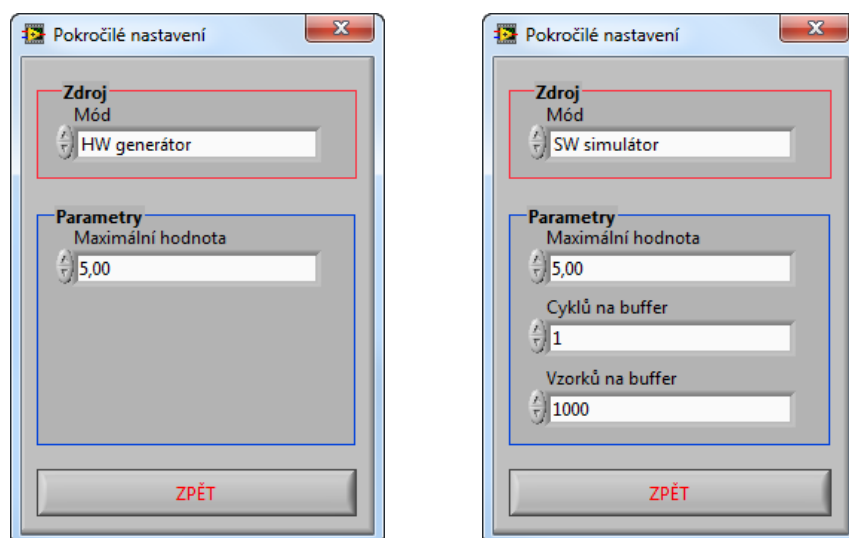
Obr. 20 Triakové a tyristorové spínání při úhlu sepnutí 90°

Dalším blokem čelního panelu je **Výstupní signál** v pravém horním rohu, na kterém je užitím grafu znázorněn aktuální generovaný signál. Pomocí tohoto grafu si můžeme jednodušeji představit vzhled námi generovaného signálu.

Nakonec v pravém dolním rohu vidíme sadu indikátorů. Ty nás informují o statistických informacích, týkajících se generovaného signálu. Mezi ně patří:

- činitel tvaru signálu
- činitel výkyvu signálu
- efektivní hodnota napětí
- maximální hodnota napětí
- střední hodnota napětí
- střední aritmetická hodnota napětí (v podstatě aritmetický průměr absolutních hodnot vzorků)

Poslední ještě nezmíněnou částí čelního panelu jsou tlačítka v levém dolním rohu. Zde lze pomocí tlačítka **STOP** ukončit činnost virtuálního přístroje a pomocí tlačítka **Pokročilé nastavení** otevřít okno s pokročilým nastavením (viz. Obr. 21).



Obr. 21 Okno pro pokročilé nastavení (vlevo - při HW režimu, vpravo - při SW režimu)

Pokročilé nastavení je důležité okno, v němž můžeme změnit některé pokročilejší parametry, především režim, ve kterém virtuální přístroj běží. Toto zařízení je totiž vybaveno dvěma režimy:

- HW režim** - zde generátor generuje reálný signál na měřicí kartě dle zvolených parametrů.
- SW režim** - zde generátor pouze simuluje generování signálu dle zvolených parametrů. Signál tedy na měřicí kartě generován není.

Režimy generování signálu jsou programově vybírány automaticky hned při spuštění zařízení. Program vyhledá připojené měřicí karty, a pokud nějakou najde, spustí se HW režim. V opačném případě se spustí SW režim. Režim lze později manuálně změnit ve výše zmíněném okně **Pokročilé nastavení**.



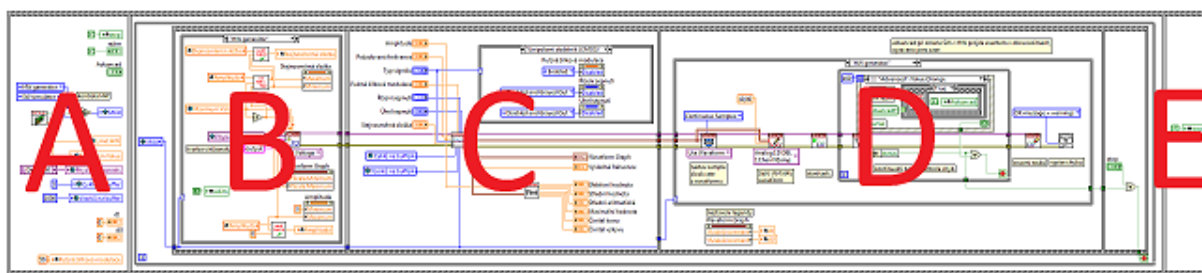
Obr. 22 Indikátor zvoleného režimu v pravém horním rohu Front Panelu

4.2.3 Blokový diagram

V této kapitole se zaměříme na popis blokového diagramu, což je v podstatě zdrojový kód aplikace.

Aplikace se skládá z pěti základních logických bloků (viz. Obr. 23):

- Inicializace a nastavení proměnných.
- Kontrola vstupních parametrů, nastavení škály grafu a v případě HW režimu tvorba virtuálního kanálu, na který budeme generovaný signál posílat.
- Generování digitální podoby signálu dle parametrů z čelního panelu a výpočet sady statistických informací o onom signálu.
- Smyčka, v níž signál generujeme na fyzickém portu nebo v případě SW režimu generování jen simulujeme.
- Závěrečné nastavení určitých proměnných.



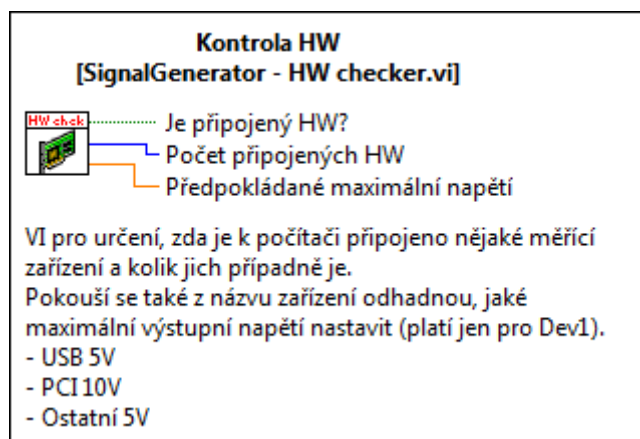
Obr. 23 Rozdělení blokového diagramu funkčního generátoru

4.2.3.1 Logický blok A - Inicializace

V tomto bloku nastavujeme výchozí hodnoty všech potřebných proměnných, jako jsou hodnoty tlačítek, ovládacích prvků, indikátorů atd. pomocí lokálních a globálních proměnných.

Nastavujeme zde i pomocí samostatného subVI (viz. Obr. 24) předpokládaný režim a maximální hodnotu napětí.

SubVI pracuje tak, že kontroluje, zda nejsou k počítači připojené nějaké měřicí karty. Pokud kartu najde, zvolí HW režim. Poté zjistí její vnitřní název (např. NI USB-6212 nebo NI PCI-6221) a z něj zjistí, zda se jedná o PCI kartu, USB kartu nebo nějakou jinou kartu. Pro PCI nastaví maximální napětí na 10 V, pro USB kartu 5 V a pro jakoukoliv jinou platnou kartu z bezpečnostních důvodů pouze 5 V. Pokud žádnou kartu nenajde, zvolí SW režim a jako maximální napětí zvolí výchozí hodnotu 5 V.

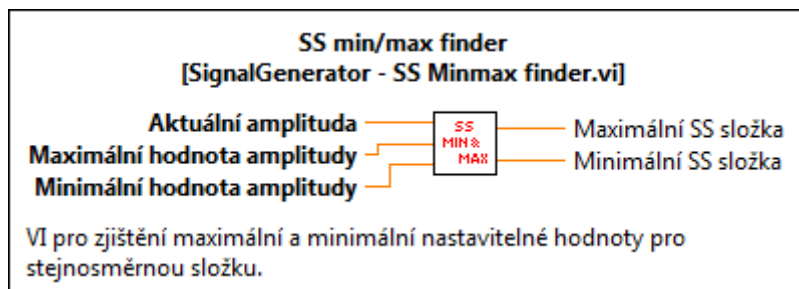


Obr. 24 SubVI Kontrola HW

4.2.3.2 Logický blok B - Kontrola vstupních parametrů, nastavení škály grafu a v případě HW režimu tvorba virtuálního kanálu, na který budeme generovaný signál posílat

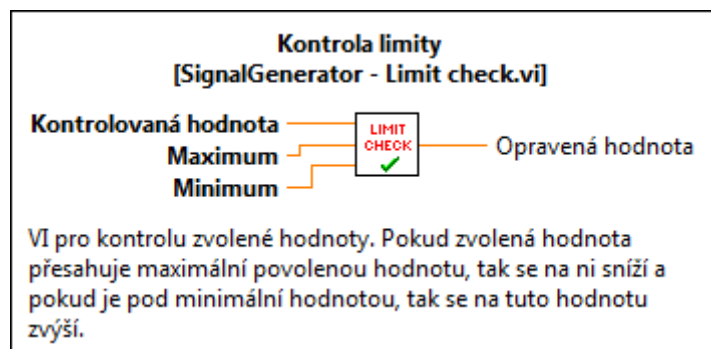
V tomto bloku se provádí dle vybraného režimu nepatrně rozdílné operace. V obou režimech ale provedeme sérii kontrol zadaných hodnot amplitudy a stejnosměrné (DC) složky.

Samostatné subVI (viz. Obr. 25) nejdříve pomocí maximální a minimální hodnoty amplitudy získané v předchozím bloku a aktuální amplitudy nastavené na čelním panelu zjistí, jaká je maximální možná velikost stejnosměrné složky. Žádná část signálu po změně stejnosměrné složky nesmí přesahovat maximální úroveň napětí. Vypočítaná maximální a minimální hodnota stejnosměrné složky se nastaví jako maximální a minimální hodnota ovládacího prvku stejnosměrné složky na čelním panelu.



Obr. 25 SubVI pro výpočet min. a max. hodnoty DC složky

Další subVI (viz. Obr. 26) provede kontrolu, zda hodnota stejnosměrné složky, která je již nastavená na čelním panelu, nepřekračuje minimum a maximum, které jsme v předchozím kroku zjistili. Pokud jej překračuje, tak se sníží nebo zvýší na nejbližší povolenou hodnotu (maximální nebo minimální hodnota stejnosměrné složky).



Obr. 26 SubVI pro kontrolu přesahu min. a max. s automatickou opravou hodnot

Stejně subVI, jako bylo použito v předchozí části (viz. Obr. 26), je použito i v poslední kontrole. Zde kontrolujeme hodnotu amplitudy, která je nastavená na čelním panelu. Pokud tato hodnota přesáhne maximální hodnotu amplitudy, sníží se na nejvyšší povolenou hodnotu (maximální hodnota napětí).

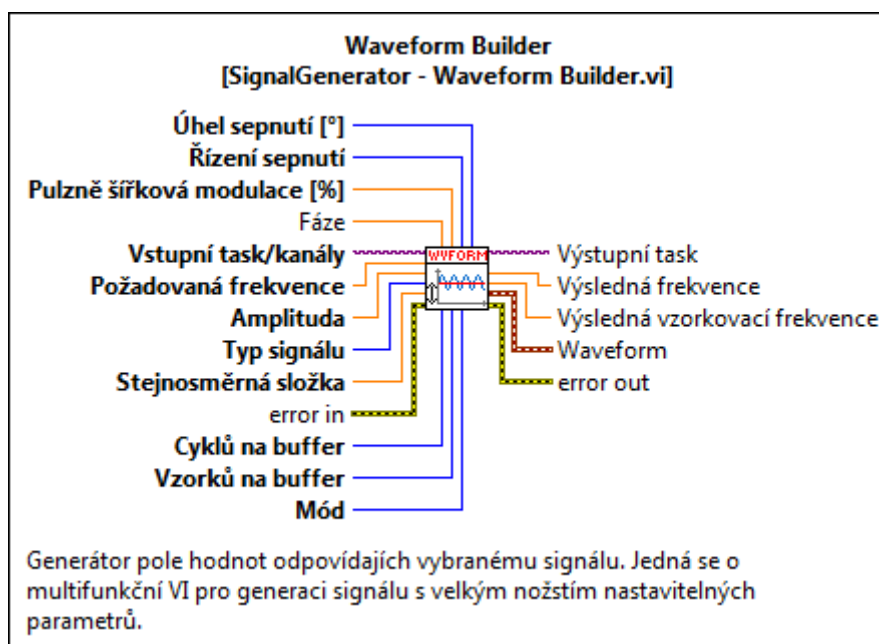
Pomocí této sady tří kontrol nepřesáhne žádná část signálu maximální a minimální hodnoty napětí, ať už bude hodnota amplitudy a stejnosměrné složky nastavena jakkoliv. I v případě, že by se maximální či minimální hodnota napětí změnila (možno v okně pokročilé nastavení) tak, aby signál tento limit přesahoval, parametry signálu na čelním panelu se automaticky sníží a signál limit opět překračovat nebude. Předně se snižuje velikost stejnosměrné složky, a pokud již více snížit nejde, snižuje se amplituda.

Tím jsme popsali části, které jsou v tomto bloku v obou režimech stejné. V HW režimu, ale naproti SW režimu, navíc vytváříme virtuální kanál pro pozdější generaci dat.

4.2.3.3 Logický blok C - Generování digitální podoby signálu dle parametrů z čelního panelu a výpočet sady statistických informací o onom signálu

V tomto bloku generujeme digitální podobu signálu, který chceme dle parametrů na čelním panelu generovat a počítáme statistické údaje signálu.

Generování digitální podoby signálu obsluhuje subVI z Obr. 27, které tvoří jádro funkčního generátoru. Toto subVI generuje samotné pole vzorků, které pak budeme v dalším bloku určitou vzorkovací frekvencí sekvenčně vyvádět na výstup měřicí karty. SubVI zahrnuje tvorbu jak normálních tvarů signálu (sinus, obdélník, trojúhelník, pila), tak i nestandardní průběh - unipolární (CMOS) obdélník. Tento průběh jsme vytvořili prostřednictvím úpravy klasického obdélníkového průběhu tak, aby byla jeho druhá půlperioda v klidovém stavu (logické 0).



Obr. 27 SubVI pro generování digitální podoby požadovaného signálu

Další subVI v tomto bloku je subVI obstarávající výpočet statistických informací, týkajících se generovaného signálu (viz. Obr. 28). Jak již bylo dříve zmíněno, toto subVI počítá následující hodnoty:

- činitel tvaru signálu
- činitel výkyvu signálu
- efektivní hodnota napětí
- maximální hodnota napětí
- střední hodnota napětí
- střední aritmetická hodnota napětí

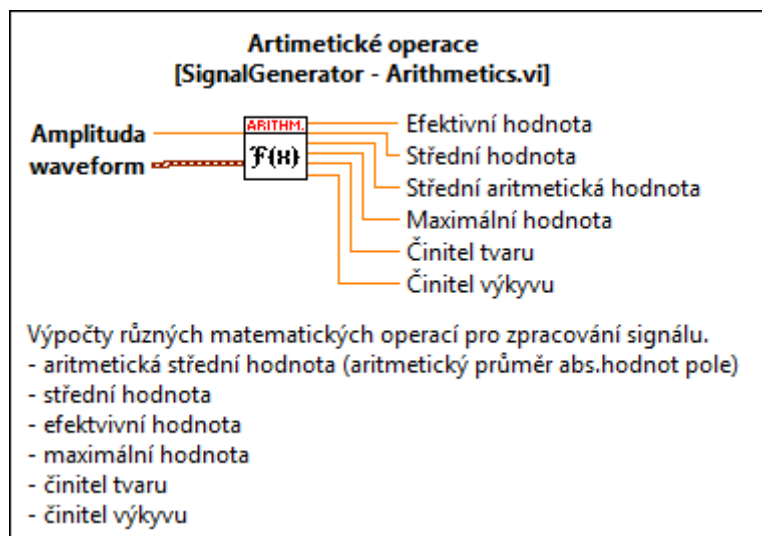
Střední hodnota (MEAN) a **efektivní hodnota** (TRMS) jsou vypočítány pomocí již předpřipravených subVI, které jsou součástí LabVIEW. **Maximální hodnota** napětí se v podstatě rovná hodnotě amplitudy signálu. **Střední aritmetická hodnota** se počítá jako aritmetický průměr z absolutních hodnot napětí vzorků.

Činitel tvaru je informace, která je užívána pro posouzení tvaru signálu a vypočítá se jako podíl efektivní hodnoty napětí a střední aritmetické hodnoty napětí.

$$k_t = \frac{U_{ef}}{U_{stř.arit.}} \quad [15]$$

Činitel výkyvu je definován jako podíl maximální hodnoty napětí a efektivní hodnoty napětí.

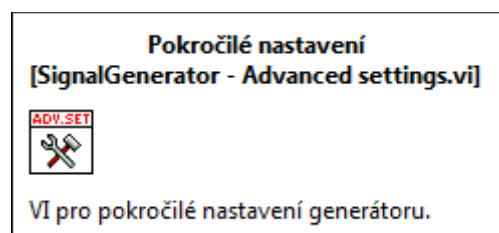
$$k_v = \frac{U_{max}}{U_{ef}} \quad [15]$$



Obr. 28 SubVI pro výpočet statistických informací o signálu

4.2.3.4 Logický blok D - Smyčka, v níž signál generujeme na fyzickém portu nebo v případě SW režimu generování jen simulujeme

V tomto bloku je „nekonečná“ smyčka *While*, v níž se provádí v HW režimu samotné generování signálu na výstupu měřicí karty. V SW režimu je smyčka prázdná a signál se tedy na kartě negeneruje. Jde o kontinuální generování vzorků, které jsme již získali v předchozím bloku. Nachází se zde i jednoduchá *Eventová struktura*, což je struktura, která provede definovanou operaci při vyvolání události v ní zaregistrované. V našem případě kontroluje, zda jsme nepozměnili parametry signálu. Pokud jsme nějaký parametr změnili, smyčka *While* se přeruší a blokový diagram vykoná znovu od bloku B. V *Eventové struktuře* je rovněž definována událost vyvolaná zmáčknutím tlačítka *Pokročilé nastavení*. V tomto případě se vyvolá jednoduchý dialog pro změnu pokročilých parametrů signálu, jako jsou manuální volba režimu, změna maximální hodnoty napětí a u SW režimu i změna vzorkovací frekvence a počtu zobrazovaných period signálu (viz. Obr. 29).



Obr. 29 SubVI pro vyvolání dialogu s pokročilým nastavením

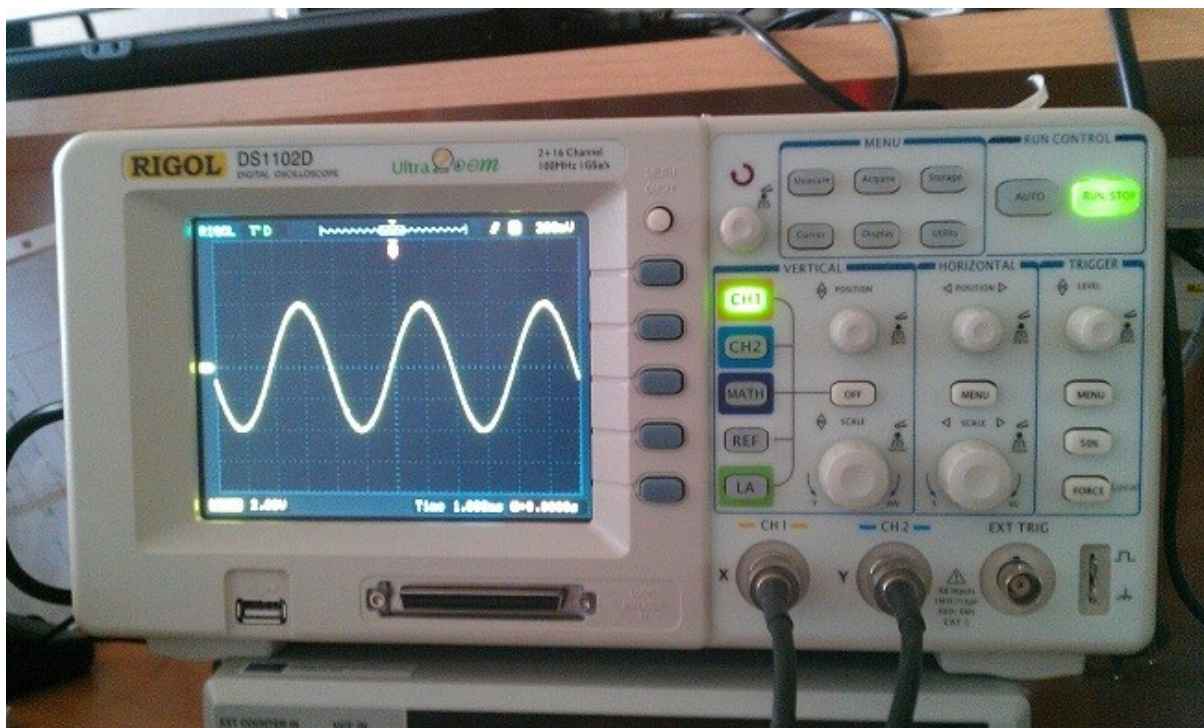
4.2.3.5 Logický blok E - Závěrečné nastavení určitých proměnných

Jedná se v podstatě jen o jednoduchou změnu stavu tlačítka STOP. Tlačítko se programově uvede zpět do stavu před zmáčknutím.

4.2.4 Kontrola funkčnosti aplikace

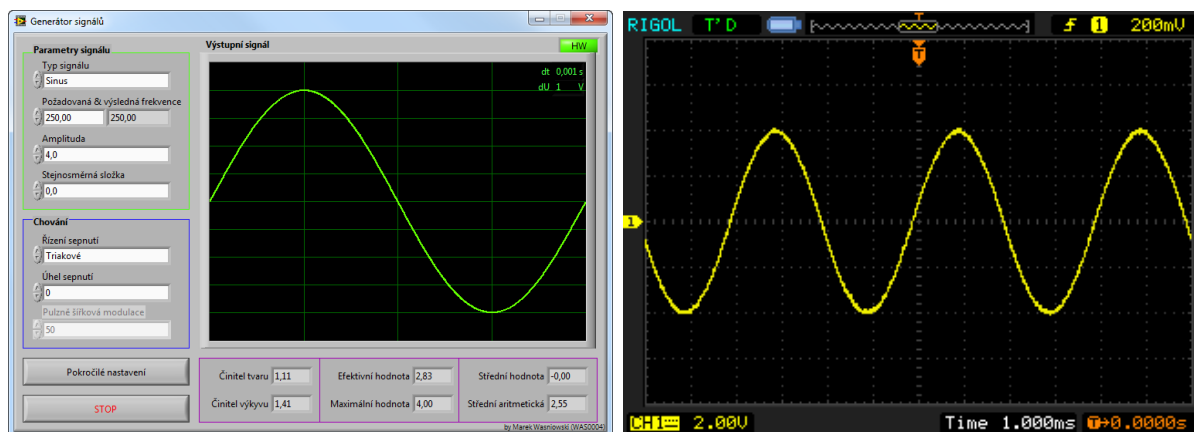
V této kapitole se přesvědčíme, že funkční generátor pracuje správně. Použijeme osciloskop RIGOL DS1102D, měřicí kartu propojenou s počítačem a samotný virtuální přístroj.

Test probíhá tak, že generujeme několik typů signálů a na hardwarovém osciloskopu kontrolujeme jejich průběhy a atributy.

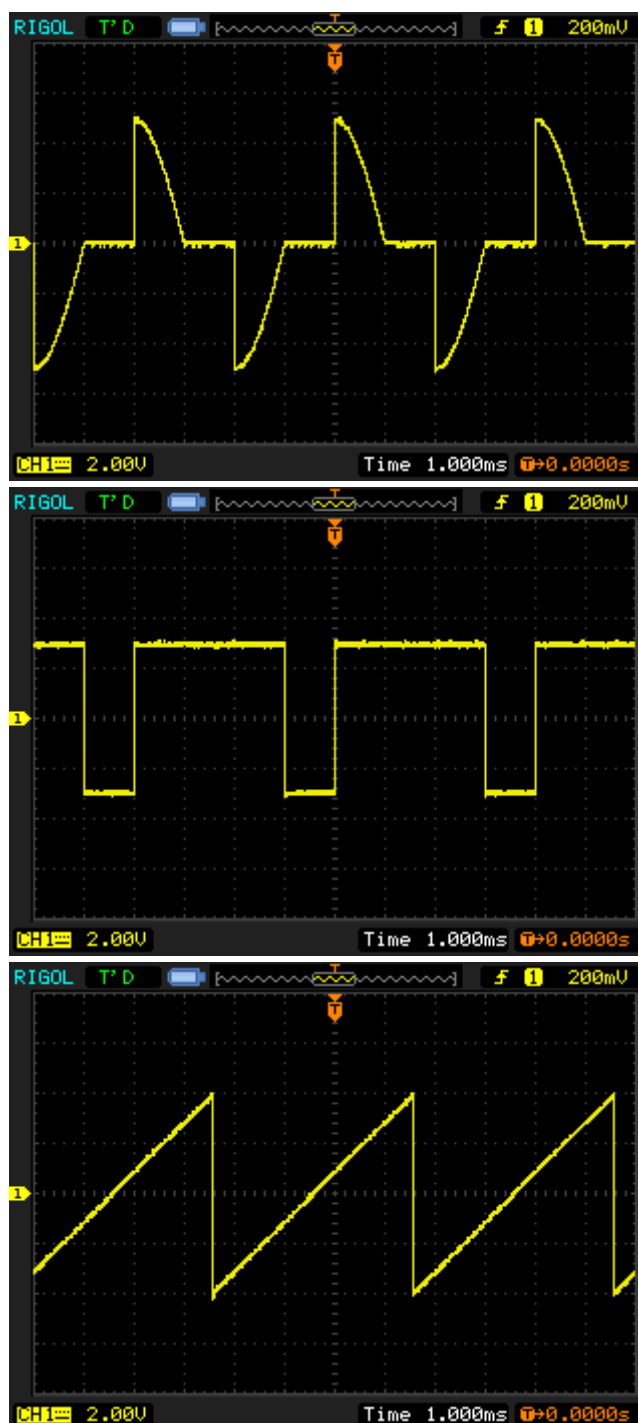


Obr. 30 Testování funkčního generátoru osciloskopem

Prvním testovacím signálem je jednoduchý sinusový signál, který lze na osciloskopu vidět již na Obr. 30. V programu si navolíme tvar signálu sinus a hodnotu amplitudy 3V. Jak lze vidět na Obr. 31, signál je na měřicí kartě úspěšně generován. Vlevo je zobrazen čelní panel virtuálního měřicího přístroje a vpravo displej hardwarového osciloskopu.



Obr. 31 Sinusový signál s amplitudou 3V



Obr. 32 Další testované signály

Na Obr. 32 vidíme displej osciloskopu při dalších testovacích signálech. Vrchní obrázek znázorňuje sinusový signál s amplitudou 5V, triakovým řízením sepnutí a úhlem sepnutí 90° . Prostřední obrázek zobrazuje obdélníkový signál amplitudou 3V a střídou nastavenou na 75%. Na posledním obrázku vidíme pilový signál s amplitudou 4V.

Na závěr můžeme shrnout, že všechny testované signály byly na měřicí kartě generovány správně, což jsme potvrdili na osciloskopu. Funkční generátor tedy pracuje správně.

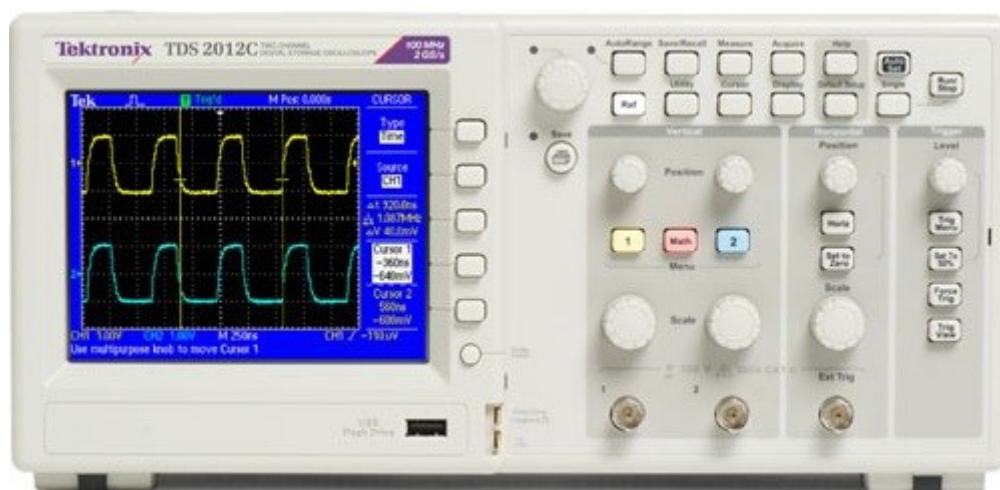
5 Osciloskop

Další ze sady měřicích přístrojů je osciloskop. Slouží k měření signálu a oproti multimetru i wattmetru je mnohem lepší pro detailní sledování a analýzu signálu. Lze s ním jednoduše a detailně zkontrolovat funkčnost předchozí aplikace - funkčního generátoru.

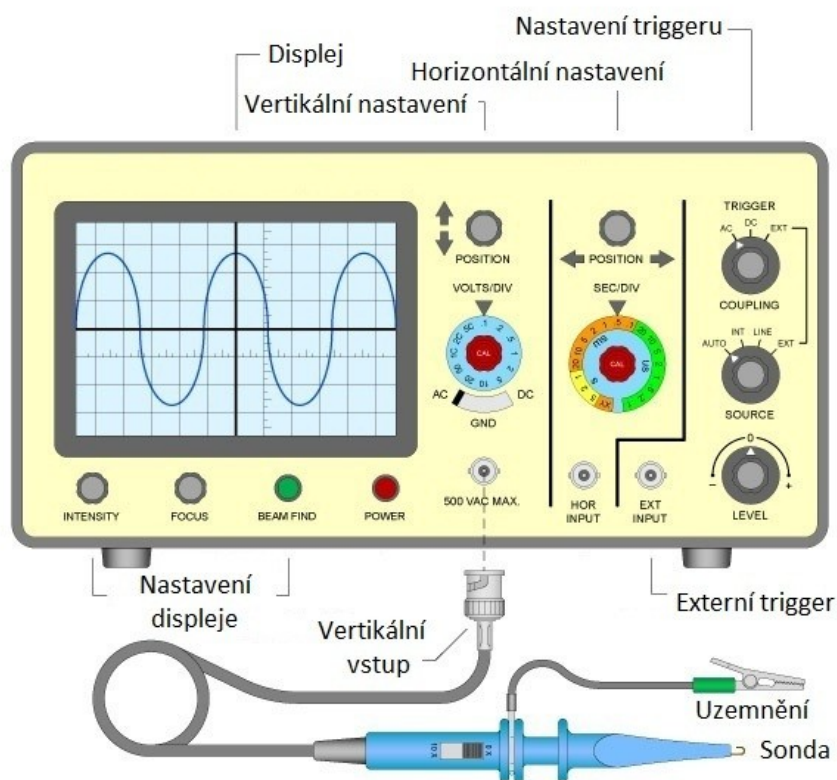
5.1 Popis přístroje

Osciloskop, také nazývaný zkratkou SCOPE, je elektronický měřicí přístroj s displejem vykreslující časový průběh měřeného napětového signálu. Běžně se používá pro pozorování přesného tvaru elektrického signálu. Kromě tvaru signálu a amplitudy dokáže rovněž ukazovat deformace signálu, měřit dobu mezi dvěma událostmi (např. šířka pulzu, perioda nebo náběžná doba) a relativní časování dvou souvisejících signálů.

Osciloskopy jsou využívány ve vědních oborech, medicíně, strojnictví i telekomunikačním průmyslu. Existují ve verzi pro obecné užití a ve verzi pro užití specializované. Osciloskopy pro obecné užití se používají nejčastěji pro údržbu elektronického vybavení a práci v laboratořích. Specializované osciloskopy mohou být použity pro mnoho delikátnějších a unikátnější zaměřených měření. Příkladem je analýza startovacího mechanismu automobilů nebo zobrazování tepu srdce, kde je osciloskop užit jako elektrokardiogram (EKG).



Obr. 33 Osciloskop [16]



Obr. 34 Běžný vnější vzhled osciloskopu [17]

Běžný osciloskop (jako je na Obr. 34) se typicky skládá ze čtyř částí:

- displej
- vertikální ovládací prvky
- horizontální ovládací prvky
- trigger

Displej většinou bývá CRT nebo klasický LCD panel, na němž jsou umístěny horizontální a vertikální referenční čáry, jež tvoří typický mřížovaný vzhled displeje. V blízkosti displeje se navíc většinou nachází i ovládací prvky pro nastavení jeho zaostření a jasu.

V sekci pro vertikální ovládací prvky nastavujeme amplitudu zobrazovaného signálu. V této sekci je otočný knoflík Volts/Div pro nastavení vertikálního měřítka (počtu Voltů na jeden dílek na displeji). Je zde samozřejmě i primární vstup pro měřicí sondu (Probe). Dodatečně se zde může nacházet i ovládací prvek pro změnu vertikální pozice signálu na displeji.

Sekce s horizontálními ovládacími prvky nastavuje časovou základnu měřicího přístroje. Hlavním ovládacím prvkem je otočný knoflík Sec/Div, pomocí kterého nastavujeme horizontální měřítko (doba zobrazovaného signálu v sekundách na jeden dílek displeje). Opět se zde může dodatečně nacházet i ovládací prvek pro změnu tentokrát horizontální pozice signálu na displeji.

Poslední je sekce pro trigger, kde nastavujeme bod, ve kterém začneme měřený signál snímat. Událost, která snímání započne, může být v této sekci zvolená jak interní, tak i externí. [17]

5.2 Realizace v LabVIEW

5.2.1 Předpokládané funkce

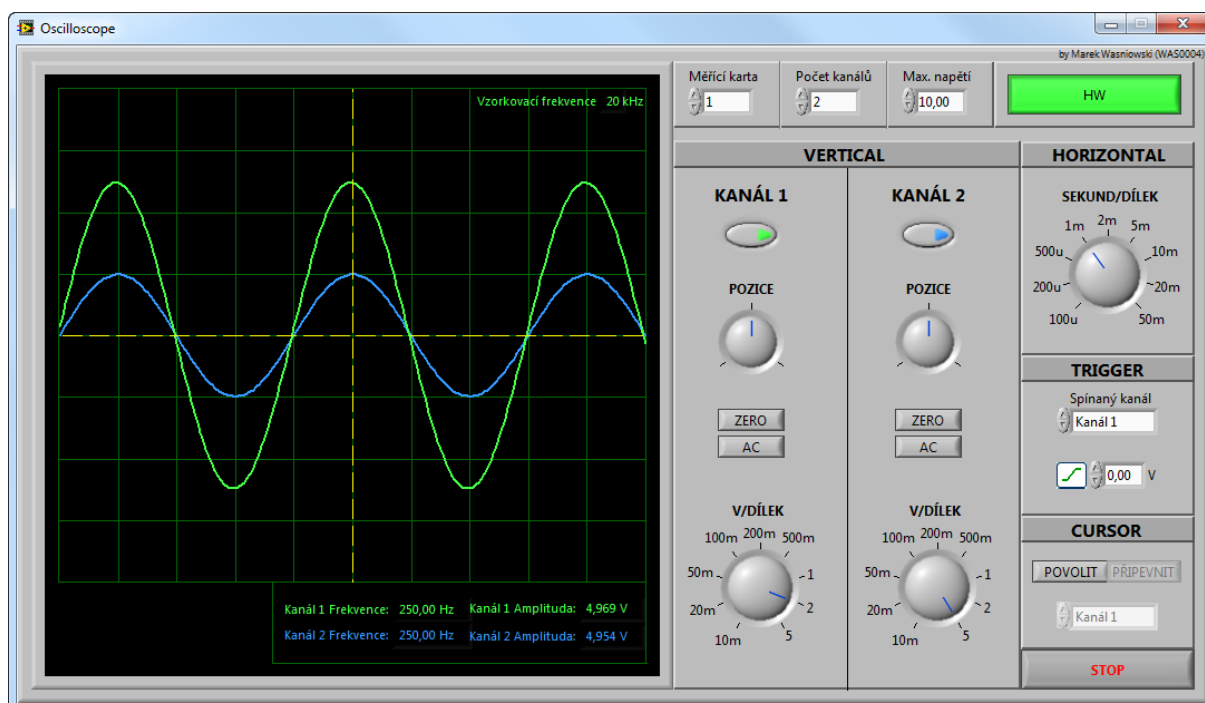
Simulovaný osciloskop, který se snažíme v této práci vytvořit, má definované určité požadavky na funkčnost.

Požadované funkce jsou:

- zařízení může pracovat v reálném (HW) i simulovaném (SW) režimu
- možnost snímání signálu na 2 kanálech
- volba časové základny (sekund na dílek displeje)
- volba napěťového (vertikálního) měřítka – Voltů na dílek displeje
- trigger:
 - s nastavitelnou hodnotou spouštěcího napětí
 - s volbou spínání na rostoucí nebo klesající hraně signálu
- signál zobrazit na přehledném displeji, který se podobá reálnému osciloskopu

5.2.2 Uživatelské rozhraní (Front Panel)

Čelní panel (viz. Obr. 35) je navrhnut tak, aby byl přehledný a co nejvíce se podobal čelnímu panelu skutečného hardwarového osciloskopu. Osciloskop se skládá ze čtyř již zmíněných částí – **horizontální sekce**, **vertikální sekce**, **displej** a **trigger**. V naší aplikaci mu byly navíc přidány ještě dvě sekce – **kurzorová sekce** a **sekce nastavení Hardware**.

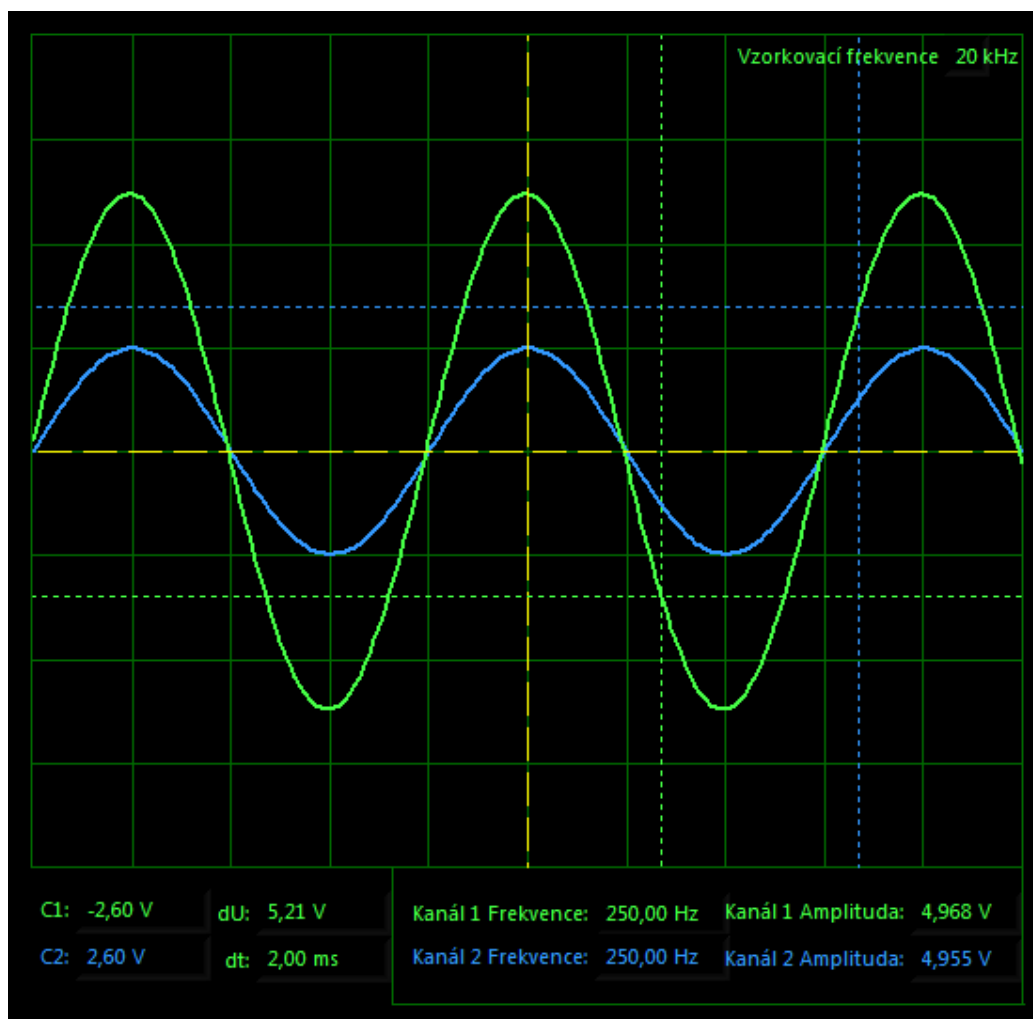


Obr. 35 Čelní panel osciloskopu

Největší sekce patří **displeji osciloskopu** (viz. Obr. 36). Displej se skládá z hlavní části, v níž jsou zobrazovány průběhy signálů (vrchní část) a z informační části, kde vidíme informace o pozorovaných signálech (spodní část).

Hlavní část displeje je tvořena čtvercovou sítí referenčních čar o rozměrech 10x8 čtverců, na níž se zobrazují průběhy pozorovaných signálů. Žlutý čárkovaný kříž představuje střed displeje. V pravém horním rohu můžeme najít aktuální rychlost, se kterou se signál vzorkuje (20 kHz pro dvoukanálové snímání a 45 kHz pro snímání jednocanálové). Na průběhu označeném zeleně se nacházejí dva kříže vykreslené čárkovanou čarou – zelený a modrý. Jsou to kurzory, jimiž vybíráme místo na signálu, o kterém chceme vědět více informací.

Ve spodní části displeje můžeme zjistit mnoho informací o zobrazovaných signálech. V pravé ohraničené části sledujeme obecné informace o obou signálech – jejich frekvenci a amplitudu. V levé části vidíme informace o místě signálu označeném kurzory. Kurzorové informace jsou rozděleny do dvou sloupců. V prvním sloupci ukazují napětíové úrovně na vybraném místě signálu a v druhém sloupci ukazují napětíovou a časovou vzdálenost mezi jednotlivými kurzory. Můžeme tak jednoduše měřit např. šířku impulzu, jeho napětíové úrovně, střidu atd.



Obr. 36 Displej virtuálního osciloskopu

Další největší sekcí je **vertikální sekce** (viz. Obr. 37). Tato sekce je rozdělena na dvě části, kde každá slouží pro nastavení parametrů jednoho zobrazovaného signálu – kanálu.

Pomocí tlačítka lze povolit či zakázat zobrazení signálu na displeji. To je vhodné, když snímáme kanály dva, ale potřebujeme se občas podívat na jeden kanál detailněji.

Níže lze nastavit vertikální pozici signálu na displeji. Pomocí tohoto otočného knoflíku můžeme do určité úrovně posouvat daný průběh na vertikální ose.

Dále následují dvě tlačítka, která rovněž ovlivňují vertikální polohu signálu. **Tlačítko ZERO** slouží pro resetování jakýchkoliv uživatelských posunů způsobených výše uvedeným otočným knoflíkem. **Tlačítko AC** slouží pro odstranění DC (stejnoseměrné) složky signálu na displeji. U signálu, který má DC složku (tj. je vertikálně posunut nahoru nebo dolů), dojde k vertikálnímu vycentrování průběhu na střed displeje.

Posledním a nejdůležitějším ovládacím prvkem v této sekci je nastavení vertikálního měřítka. Můžeme jednoduše nastavit, kolik Voltů má jeden dílek (jeden čtverec) na displeji představovat. Napěťový rozsah tohoto ovládacího prvku je od 10 mV do 5 V.





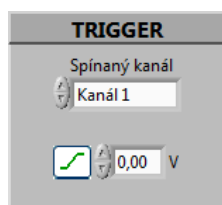
Obr. 37 Vertikální sekce

Jako další budeme popisovat **horizontální sekci** osciloskopu (viz. Obr. 38). V této sekci je pouze jeden ovládací prvek, a ten nastavuje velikost horizontálního měřítka, tj. časovou základnu. Jedná se o otočný knoflík, pomocí něhož můžeme nastavit, kolik sekund bude na displeji představovat jeden dílek (jeden čtverec). Rozsah časové základny je od 100 μ s až po 50 ms.



Obr. 38 Horizontální sekce

Pod horizontální sekci je umístěna **sekce pro Trigger** (viz. Obr. 39). Prvním nastavitelným parametrem je volba kanálu, jehož signál chceme spínat (triggerovat). Pomocí tlačítka nalevo od číselného pole vybíráme, na které hraně se bude signál spínat. Signál může být spínán na náběžnou () nebo sestupnou () hranu. Poslední nastavitelný parametr je číselné pole, ve kterém nastavujeme napěťovou úroveň, od jejíhož prvního výskytu osciloskop začne snímat signál.



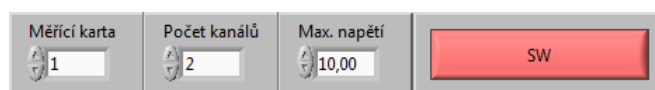
Obr. 39 Sekce pro Trigger

Pod sekci obstarávající Trigger se nachází **sekce pro kurzor** (viz. Obr. 40). V této sekci nastavujeme, zda se má na displeji kurzor zobrazovat a jak se má chovat. Tlačítko **POVOLIT** slouží k povolení zobrazování kurzorů. Kurzory se ve výchozím stavu mohou pohybovat kdekoli na displeji (i mimo průběhu signálu). Na displeji zobrazí také informaci o časové vzdálenosti mezi body obou kurzorů. Tlačítko **PŘIPEVNIT** změní chování kurzorů, aby se mohly pohybovat pouze po průběhu signálu. Zároveň začne na displeji zobrazovat napěťové údaje signálu na bodech kurzorů a napěťovou vzdálenost mezi body kurzorů.



Obr. 40 Sekce pro kurzor

Poslední nezmíněnou sekci osciloskopu je **sekce nastavení hardware** (viz. Obr. 41). Tato sekce nemá se samotným snímáním signálu nic společného. Jak již její název napovídá, slouží pro nastavení měřicí karty a pro volbu režimu.



Obr. 41 Sekce nastavení hardware

V levém číselném poli lze navolit číslo měřicí karty, ze které chceme měření provádět (vhodné pro počítače s více měřicími kartami). Pokud si nejsme jistí číslem používané karty, použijeme utilitu **Measurement & Automation Explorer** (viz. Obr. 3). V této utilitě jsou vypsány všechny měřicí karty připojené k počítači i jejich čísla. Standardně je zvolená měřicí karta č. 1 (Dev1).

V prostředním číselném poli můžeme navolit, z kolika kanálů chceme signály snímat (jeden nebo dva). Tato volba rozhoduje o vzorkovací rychlosti a tím i přesnosti snímaných průběhů. Při snímání dvou kanálů je každý z nich snímán vzorkovací frekvencí 20 kHz, zatímco při snímání jednoho kanálu vzorkujeme frekvencí 45 kHz, neboť měřicí prostředky spotřebovávají druhým

kanálem jsou uvolněné. Chceme-li snímat pouze jeden kanál, je doporučováno nastavit v tomto poli hodnotu 1.

V posledním (pravém) číselném poli nastavujeme maximální hodnotu snímaného napětí. Tato hodnota je daná užitou měřicí kartou (některé měřicí karty mohou snímat pouze např. 5V). Tuto hodnotu nastavujeme dle použitého hardware.

Napravo od číselných polí se nachází tlačítko pro volbu režimu. Pomocí něj přepínáme, zda chceme snímat reálný signál z karty nebo pouze sledovat simulované signály. Simulované signály jsou předdefinovány na parametry – kanál 1 (frekvence = 250 Hz, Amplituda = 1 V, DC složka = 0 V), kanál 2 (frekvence = 1000 Hz, Amplituda = 3 V, DC složka = 0,5 V).



Obr. 42 Tlačítko pro volbu režimu osciloskopu

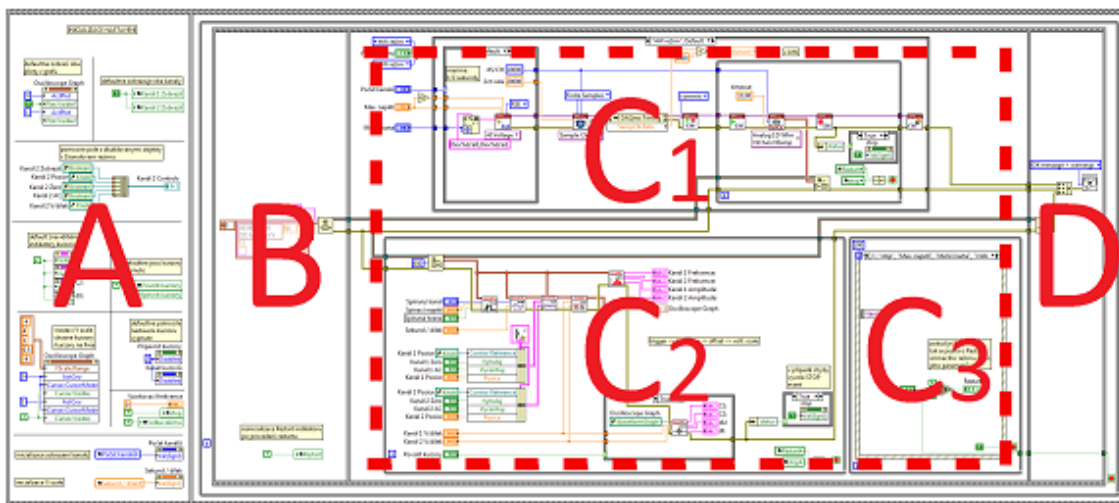
5.2.3 Blokový diagram

Naproti předchozí aplikaci, v této aplikaci jsem se již detailněji seznámil s programovacími metodami LabVIEW a problematikou měřicích karet. Zdrojový kód v blokovém diagramu je tak relativně přehlednější.

Aplikace se skládá z pěti základních logických bloků (viz. Obr. 43):

- a) Inicializace a nastavení proměnných.
- b) Inicializace fronty.
- c) Hlavní blok:
 - 1) Sběr dat.
 - 2) Zpracování a prezentace dat.
 - 3) Zpracovávání událostí vyvolaných změnou vstupních parametrů.
- d) Zrušení fronty.

Jak lze vidět z obrázku, logické bloky C_1 , C_2 a C_3 tvoří dohromady jeden *Hlavní blok*. Jsou to tři spolupracující paralelní smyčky.



Obr. 43 Rozdělení blokového diagramu osciloskopu

5.2.3.1 Logický blok A - Inicializace a nastavení proměnných

V tomto bloku inicializujeme všechna základní nastavení virtuálního přístroje. Nastavujeme výchozí hodnoty všech potřebných proměnných, jako jsou např. nastavení hodnot tlačítek, hodnot ovládacích prvků na čelním panelu atd. Dále nastavujeme měřítko osy Y grafu osciloskopu, aby zobrazoval na výšku přesně 4 čtverce (jak to bývá u většiny osciloskopů). U grafu navíc nastavujeme, ať jsou oba průběhy implicitně viditelné, neboť měřicí přístroj je standardně nastaven pro sběr dat z obou možných kanálů. Nakonec ještě zakážeme či povolíme přístup k některým prvkům na čelním panelu a nastavujeme viditelnost určitých indikátorů a kurzorů.

5.2.3.2 Logický blok B - Inicializace fronty

Toto je pouze pomocný blok, ve kterém před hlavním blokem inicializujeme a nastavíme frontu, pomocí které si paralelní smyčky *While* v blocích C_1 a C_2 vyměňují data.

Datová fronta (Queue) je synchronizační médium. Skládá se z fronty, do níž se ukládají data, funkce pro vložení dat do fronty a funkce pro přečtení dat z fronty. Samotná fronta funguje tak, že se data ukládají do bufferu v RAM, dokud nejsou zpět z fronty přečtena. Obecně existují dva druhy front – *First In First Out (FIFO)* fronta a *Last In First Out (LIFO)* fronta, ale v LabVIEW používáme frontu FIFO.

5.2.3.3 Logický blok C_1 - Hlavní blok: Sběr dat

Tento blok obsahuje zdrojový kód pro získávání dat z měřicí karty (HW režim) nebo ze simulovaného signálu (SW režim).

V tomto bloku se nejdříve zjistí, zda jsme vybrali dvoukanálový či jednocanálový snímací režim. Pokud jsme zvolili jednocanálový režim, nastaví se vzorkovací frekvence na hodnotu 45 kS/s a snímáme 22500 vzorků, u dvoukanálového režimu se nastaví vzorkovací frekvence 20 kS/s a snímáme 10000 vzorků. V obou režimech tak snímáme přesně 0,5 sekundy.

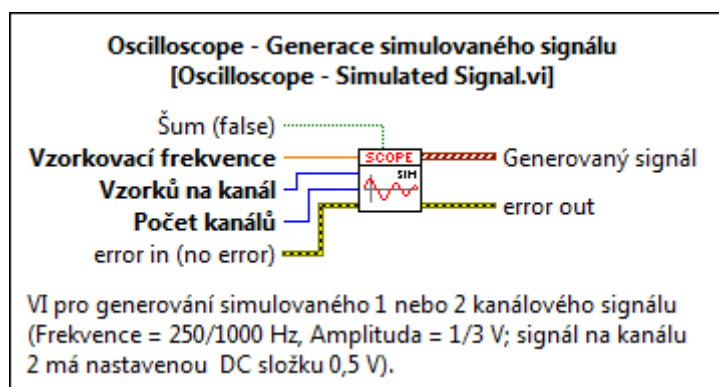
$$t = \frac{\#S/channel}{f_{rate}}$$

$$t = \frac{10000}{20000} = 0.5s$$

V další části tohoto bloku zjistíme skutečnou vzorkovací frekvenci na kartě a zobrazíme ji v pravém horním rohu displeje osciloskopu v jednotkách kHz.

Poslední částí tohoto bloku je smyčka *While*, v níž dochází k samostatnému snímání dat (vzorkování). V HW režimu jsou sbírány data z analogových vstupů měřicí karty a v SW režimu dochází k simulovanému sběru dat prostřednictvím samostatného subVI (viz. Obr. 44).

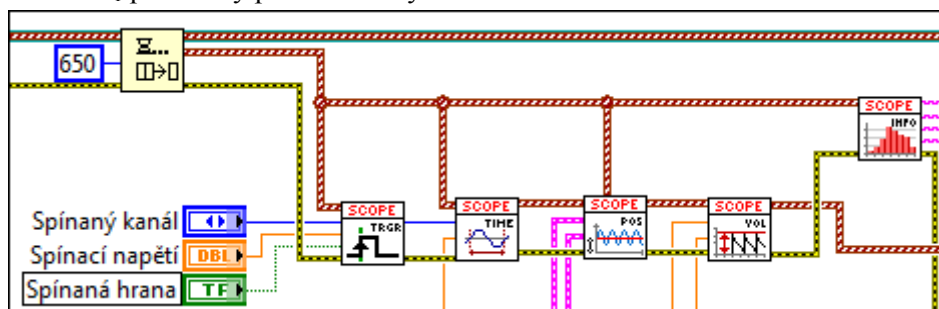
V HW režimu dochází v průběhu první a druhé části tohoto bloku k vytvoření virtuálního kanálu a konfiguraci časové základny pro vzorkování.



Obr. 44 SubVI pro generování simulovaných signálů osciloskopu

5.2.3.4 Logický blok C_2 - Hlavní blok: Zpracování a prezentace dat

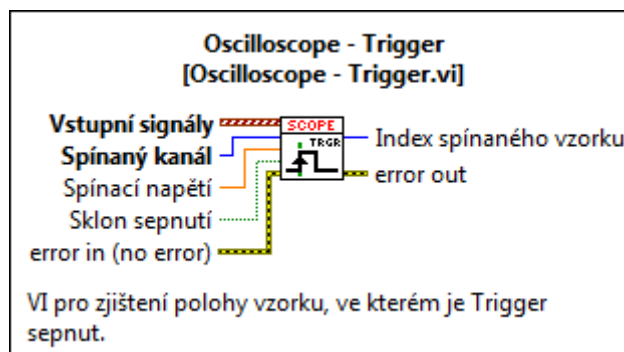
V tomto bloku dochází ke zpracování nasbíraných dat a jejich vhodné prezentaci na čelním panelu. Jak již bylo zmíněno v Kapitole 5.2.3.2, data s nasbíranými vzorky jsou zde ze smyčky v logickém bloku C_1 přiváděny pomocí fronty.



Obr. 45 Postup zpracování dat v osciloskopu

Na Obr. 45 přehledně vidíme, jak je signál přečten z fronty a pomocí subVI sekvenčně upravován pro správnou prezentaci uživateli. Data z DAQ smyčky v bloku C_1 vždy přicházejí jako půl sekundy vzorkovaných dat.

V prvním subVI (viz. Obr. 46) zpracováváme Triggering. SubVI tedy projde všechny nasbírané vzorky a vrátí index vzorku s prvním výskytem napěťové úrovně, která odpovídá hodnotě nastavené na čelním panelu. Parametr sklon sepnutí subVI informuje, zda má napěťovou úroveň hledat na rostoucí či klesající hraně.

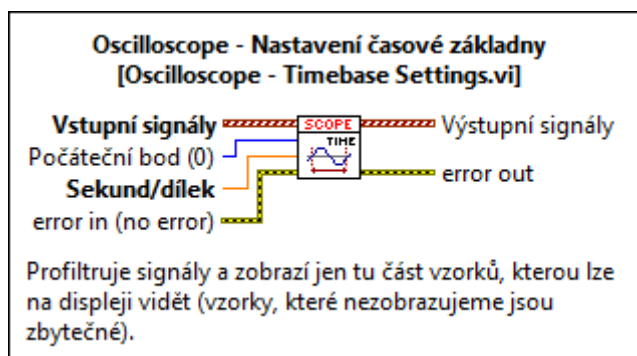


Obr. 46 SubVI pro obsluhu Triggeru

V dalším subVI (viz. Obr. 47) dojde k „ořezání“ počtu vzorků v poli nasbíraných dat dle nastavení časové základny na čelním panelu. Časová základna je v podstatě měřítko horizontální (časové) osy a určuje, jak dlouhou část signálu zobrazujeme na displeji osciloskopu (kolik sekund signálu zobrazujeme na jedné kostce displeje). SubVI vypočítá pomocí vzorce, kolik z naměřených vzorků budeme na displeji zobrazovat a ostatní nadbytečné vzorky z pole odstraní.

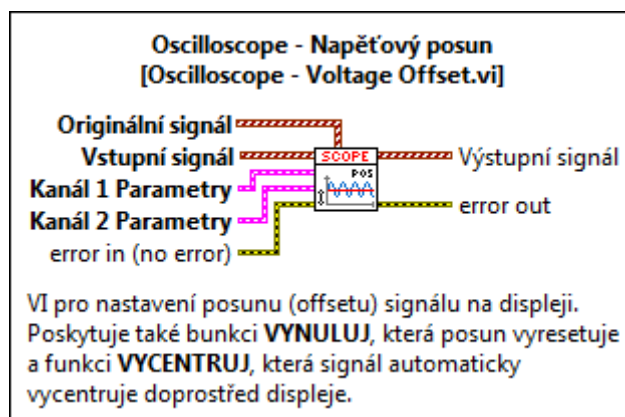
$$\#S/channel = t \cdot f_{rate}$$

Zjednodušíme tak práci osciloskopu tím, že nemusí v dalších krocích upravovat vzorky, které na displeji stejně nelze vidět.



Obr. 47 SubVI pro nastavení časové základny

V následujícím subVI (viz. Obr. 48) provádíme vertikální posun signálu na displeji osciloskopu (tzv. offset). Vstupem tohoto subVI je cluster parametrů pro každý kanál, který zahrnuje atributy – vertikální pozice (offset) signálu, reference na ovládací prvek, jenž tuto pozici na čelním panelu nastavuje a vstupy, které nás informují, zda nebylo zmáčknuto tlačítko **ZERO** nebo **AC**. V tomto subVI tedy vlastně k napětí každého vzorku signálu přičítáme napětíovou hodnotu udanou otočným knoflíkem **POZICE** na čelním panelu. Při zmáčknutí tlačítka **ZERO** provedeme resetování uživatelsky nastaveného posunu na úroveň 0 a při zmáčknutí tlačítka **AC** vypočítáme velikost stejnosměrné (DC) složky a odečteme ji od napětí jednotlivých vzorků. Tím dojde k odstranění DC složky a signál se na displeji vycentruje.



Obr. 48 SubVI pro nastavení vertikálního posunu

Poslední subVI (viz. Obr. 49) pro zpracování signálu před zobrazením obstarává změnu napětového měřítka signálu dle otočného knoflíku **V/dílek** na čelním panelu. Aby byl signál na displeji s rozsahem -4V až 4V (krok 1V) správně zobrazen, musíme napětí signálu vhodně zvětšit. K tomu používáme vzorec:

$$U = \frac{\text{napětový krok grafu}}{V/\text{dílek}} \cdot U_{\text{vzorku}}$$

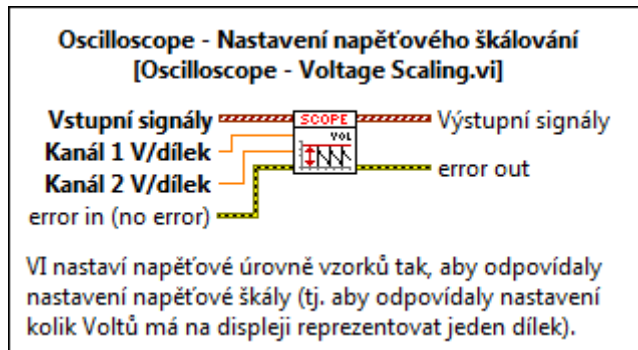
$$U = \frac{1V}{V/\text{dílek}} \cdot U_{\text{vzorku}}$$

Pokud tedy např. máme vzorek signálu s napětím 4V a chceme nastavit měřítko na 2V/dílek, výpočet bude vypadat takto:

$$U = \frac{1V}{2V} \cdot 4V = 2V$$

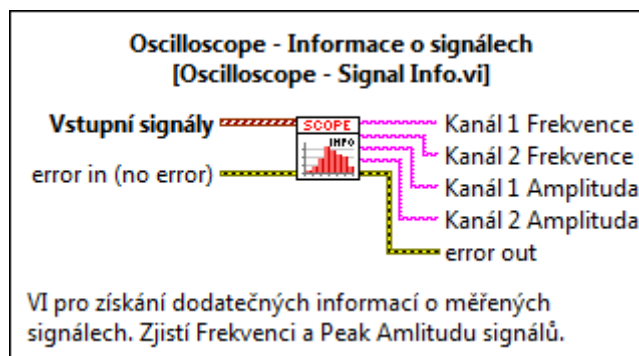
Na displeji osciloskopu, který má pevně nastavený krok 1V na jeden dílek, bude mít signál na výšku 2 dílky (čtverce), což přesně odpovídá požadovanému měřítku.

Tento postup pro změnu měřítka signálu je nutný, neboť potřebujeme mít možnost nezávisle měnit měřítko pro signály na obou kanálech.



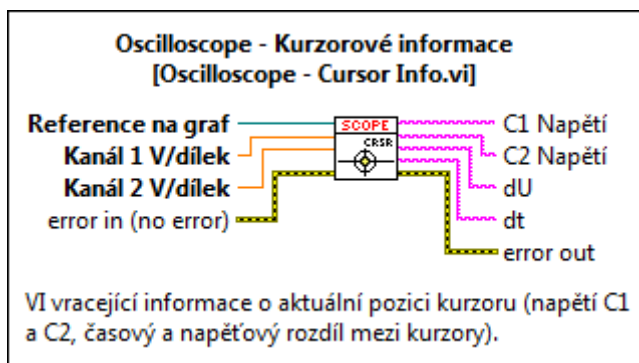
Obr. 49 SubVI pro nastavení napětového měřítka

Následující subVI (viz. Obr. 50) již nepatří do sekvence pro úpravu signálu. Toto subVI slouží pro zjištění statistických informací o signálu, které jsou zobrazeny v informační (pravé spodní) části displeje osciloskopu. SubVI nám vrací frekvenci a amplitudu signálu na obou kanálech.



Obr. 50 SubVI pro zjištění informací o signálu

Poslední subVI (viz. Obr. 51) v tomto bloku je pro zjištění informací o signálu v poloze, na níž je kurzor na displeji umístěn. SubVI pomocí reference na graf osciloskopu přímo přistupuje k datům na displeji. Na displeji mají již signály nastavené měřítko dle otočného knoflíku na čelním panelu, a proto je třeba přivést na subVI hodnotu měřítka, ať je můžeme zpětně převést na skutečné hodnoty. SubVI vrací napěťové hodnoty signálu na aktuální poloze kurzoru a napěťovou a časovou vzdálenost mezi kurzory (dU a dt).



Obr. 51 SubVI pro zjištění kurzorových informací

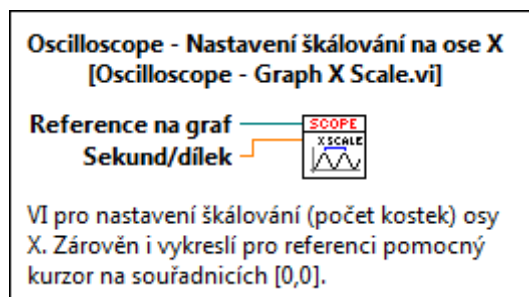
5.2.3.5 Logický blok C_3 - Hlavní blok: Zpracovávání událostí vyvolaných změnou vstupních parametrů

Tento blok je tvořen smyčkou *While*, v níž je umístěná *Eventová struktura*, jenž reaguje na změny na uživatelském rozhraní (čelním panelu). Je zde použita proto, abychom nemuseli kontrolovat stav ovládacích prvků čelního panelu při každém cyklu programu. *Eventová struktura* reaguje na tyto změny pouze, až k nim dojde (ušetříme procesorový čas).

Zpracovává tyto události:

1. změna tlačítka pro zobrazení průběhu signálu č. 1 na grafu
2. změna tlačítka pro zobrazení průběhu signálu č. 2 na grafu
3. změna tlačítka pro zobrazení kurzorů na grafu a jejich statistických informací
4. změna tlačítka pro připevnění kurzorů na průběh signálu na grafu a zobrazení jejich statistických informací
5. změna ovládacího prvku pro výběr kanálu, na který se připevní kurzory
6. změna ovládacího prvku pro výběr počtu snímaných kanálů
7. změna ovládacího prvku pro maximální napětí, výběr použité měřicí karty; stisknutí tlačítka pro změnu režimu a ukončení aplikace
8. změna měřítka osy X na displeji osciloskopu

V události č. 8 užíváme samostatný subVI (viz. Obr. 52). Toto subVI nejdříve nastaví displej osciloskopu tak, ať má na šířku přesně 10 dílků (čtverců). Šířka dílku je učena velikostí horizontálního měřítka (časové základny). V dalším kroku subVI vykreslí uprostřed displeje pro referenci žlutý čárkovaný kříž. Ten slouží pro zřehlednění displeje.



Obr. 52 SubVI pro nastavení měřítka osy X na displeji osciloskopu

5.2.3.6 Logický blok D - Zrušení fronty

Jedná se o poslední jednoduchý blok, ve kterém zrušíme frontu a případně vypíšeme chyby, které nastaly v průběhu aplikace.

5.2.4 Kontrola funkčnosti aplikace

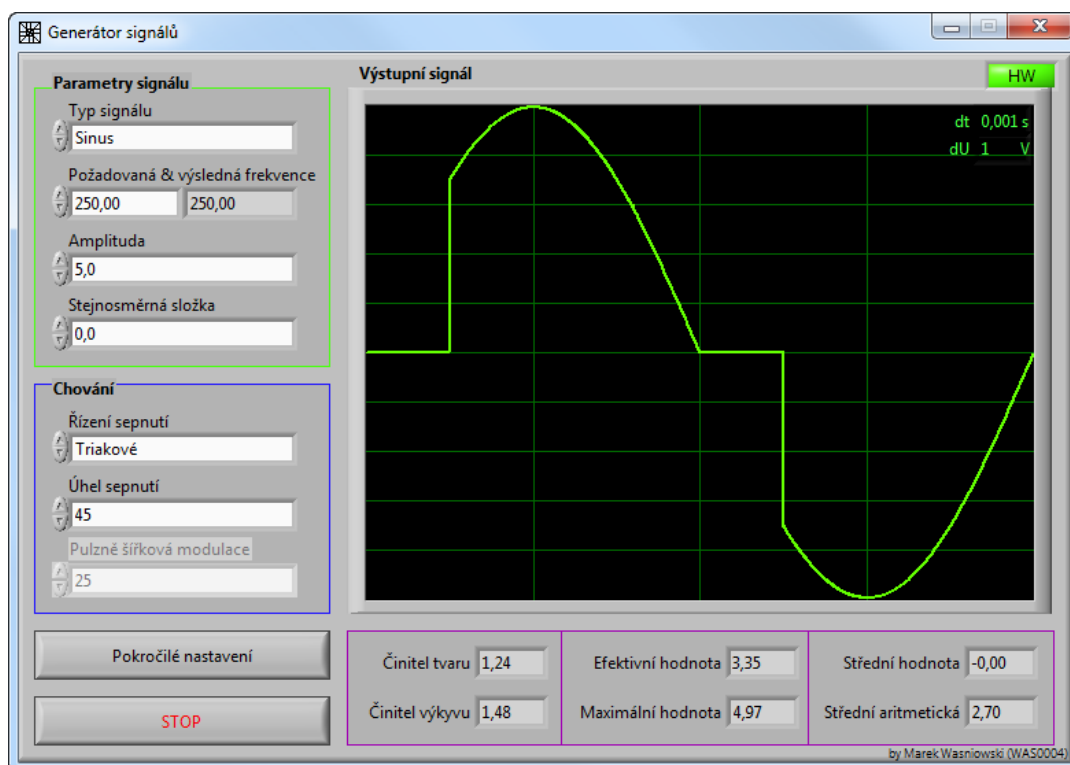
Kontrolu jednoduše provedeme pomocí funkčního generátoru, který jsme vytvořili v předchozí části práce. Stačí propojit piny měřicí karty, které odpovídají analogovému výstupu AO0 (funkční generátor zde generuje signál) a piny pro analogový vstup AI0 (zde snímá osciloskop).



Obr. 53 Zapojení měřicí karty při kontrole aplikace

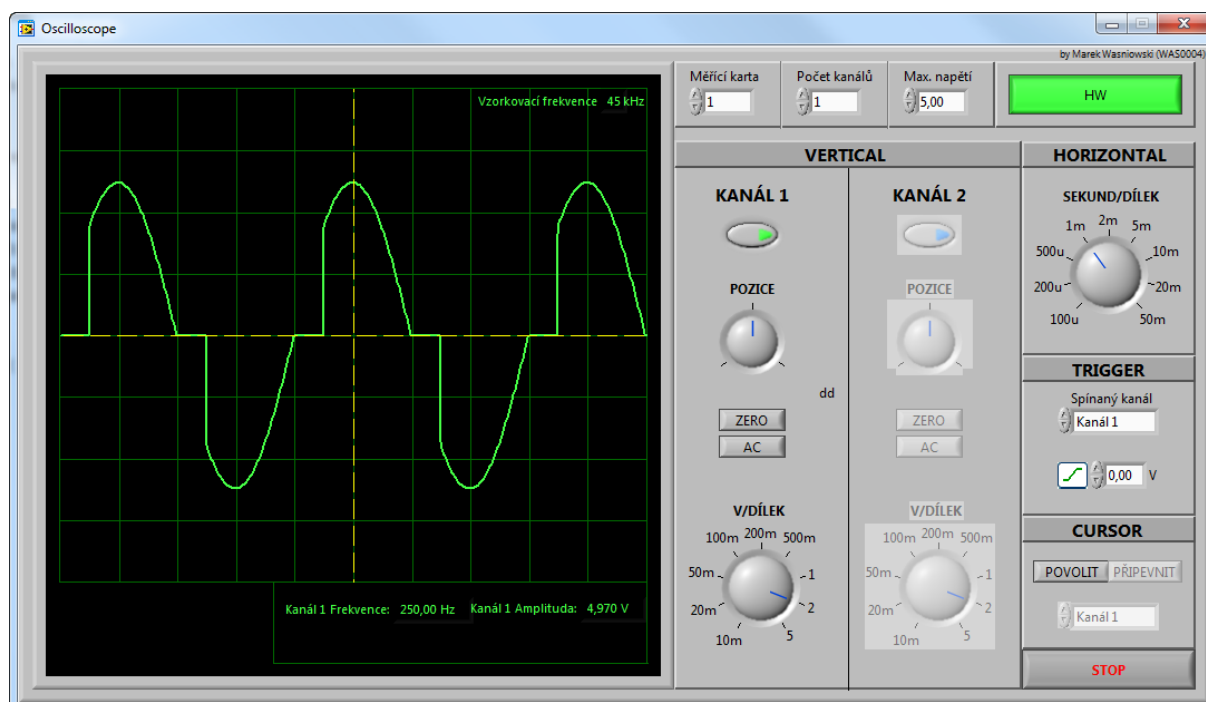
Po propojení kanálů na měřicí kartě (viz. Obr. 53) už stačí pouze spustit virtuální funkční generátor z kapitoly 4, vybrat typ generovaného signálu, spustit virtuální osciloskop a zkontrolovat, zda se signál zobrazuje správně.

Na funkčním generátoru generujeme testovací signál sinusového průběhu s amplitudou 5V, triakovým spínáním na úhlu 45° (viz. Obr. 54).



Obr. 54 Generování testovacího signálu pro osciloskop

Jak lze vidět na Obr. 55, testovací signál je na osciloskopu zobrazen správně. Virtuální přístroj pracuje v pořádku.



Obr. 55 Snímání testovacího signálu virtuálním osciloskopem

6 Multimetr

Z vytvořených měřicích přístrojů je multimetr nejjednodušší. Lze jej použít pro orientační měření stejnosměrného nebo střídavého napětí.

6.1 Popis přístroje

Multimetr je elektronický měřicí přístroj, který kombinuje více měřicích funkcí v jednom přístroji. Typický multimetr umožňuje měřit napětí, proud a odpor. Multimetry mohou využívat analogové či digitální řídicí obvody. Podle řídicích obvodů rozdělujeme multimetry – **analogové (AMM)** a **digitální (DMM)**. Analogové přístroje jsou většinou založeny na principu *mikroampérmetru*, jehož ukazatel se pohybuje po stupnici kalibrované pro všechny dostupné typy měření. Digitální přístroje zobrazují měřené hodnoty prostřednictvím digitálních číslic popř. pruhu o délce úměrné velikosti měřené veličiny. [19]



Obr. 56 Multimetr [18]

6.2 Realizace v LabVIEW

6.2.1 Předpokládané funkce

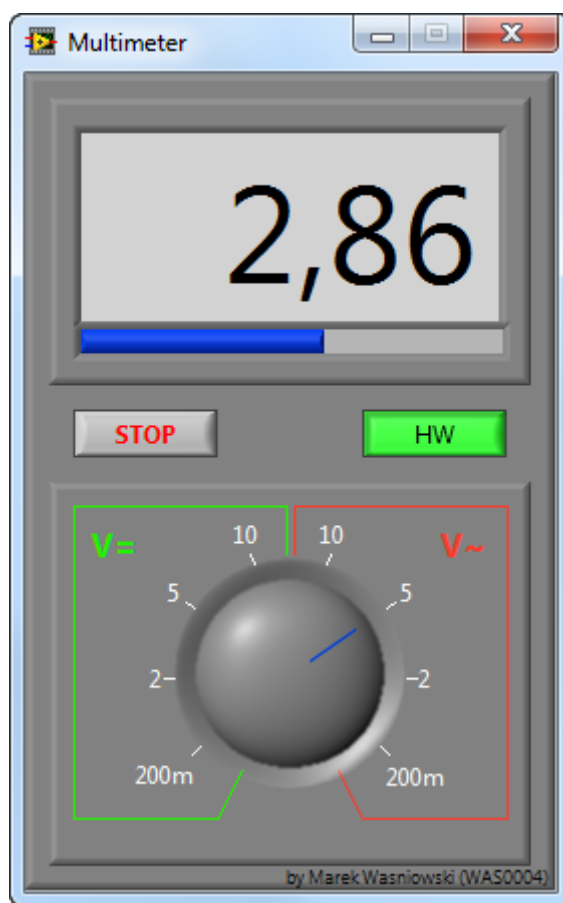
Požadavky na funkčnost jsou:

- zařízení může pracovat v reálném (HW) i simulovaném (SW) režimu
- možnost přepínání mezi měřením stejnosměrného či střídavého napětí
- volba několika napětěvých rozsahů jako na skutečném multimetru

6.2.2 Uživatelské rozhraní (Front Panel)

Čelní panel (viz. Obr. 57) je rozdělen do tří oblastí – **displej, tlačítka pro zastavení aplikace a volbu režimu a výběr měřicího režimu.**

Na displeji zobrazujeme měřené hodnoty pomocí číselné hodnoty a pruhu o délce úměrné velikosti měřené veličiny. Pod displejem najdeme úzkou sekci s dvěma tlačítky. První slouží pro přepínání mezi SW režimem a HW režimem a druhé pro zastavení virtuálního přístroje.



Obr. 57 Čelní panel multimetru

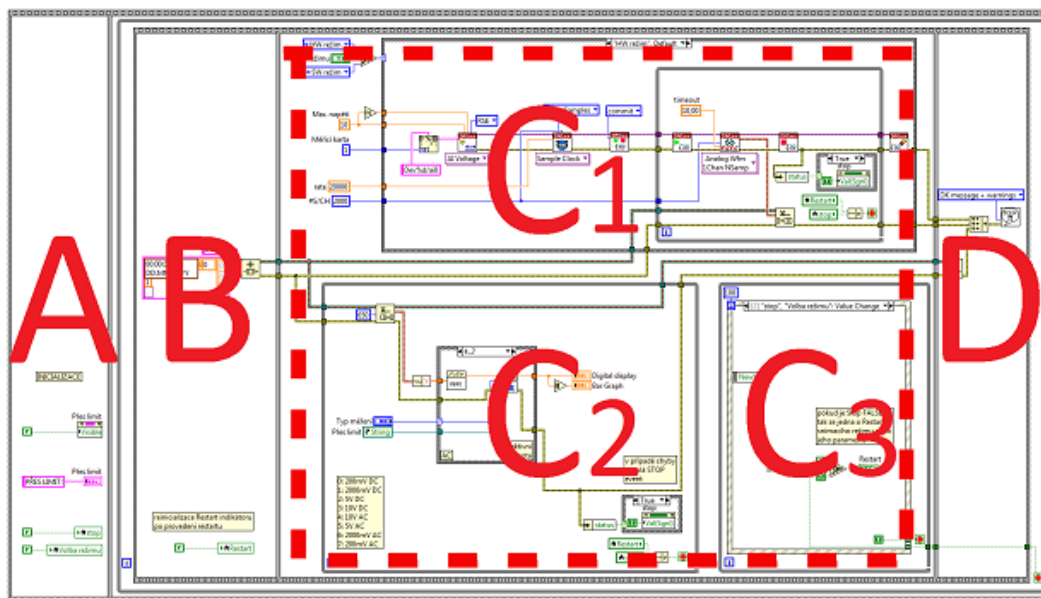
Ve spodní části je otočný knoflík pro volbu měřené veličiny a napětového rozsahu. Položky otočného knoflíku udávají maximální úroveň napětí, kterou může měřicí přístroj měřit. Jsou rozděleny do dvou skupin – maximální měřené stejnosměrné napětí a maximální měřené střídavé napětí. Zvolením prvku zařazeného do jedné z těchto skupin okamžitě určí, kterou veličinu chceme měřit – stejnosměrné napětí ($V=$) nebo střídavé napětí ($V\sim$).

6.2.3 Blokový diagram

Aplikace se skládá z pěti základních logických bloků (viz. Obr. 58):

- a) Inicializace a nastavení proměnných.
- b) Inicializace fronty.
- c) Hlavní blok:
 - 1) Sběr dat.
 - 2) Zpracování a prezentace dat.
 - 3) Zpracovávání událostí vyvolaných změnou vstupních parametrů.
- d) Zrušení fronty.

Logické bloky C_1 , C_2 a C_3 tvoří dohromady jeden *Hlavní blok*. Jsou to tři spolupracující paralelní smyčky.



Obr. 58 Rozdělení blokového diagramu multimetru

6.2.3.1 Logický blok A - Inicializace a nastavení proměnných

Tímto blokem inicializujeme základní nastavení virtuálního přístroje. Nastavujeme výchozí hodnoty potřebných proměnných, jako jsou např. nastavení hodnot tlačítek, hodnot ovládacích prvků na čelním panelu atd. Dále nastavujeme výchozí režim práce aplikace – SW režim a text, jenž se na displeji zobrazí při překročení napětového rozsahu měřenou hodnotou. Jako poslední věc nastavíme, aby byl zmíněný indikátor ve výchozím stavu neviditelný.

6.2.3.2 Logický blok B - Inicializace fronty

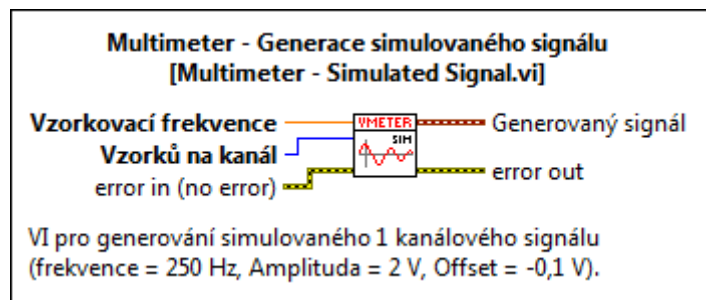
Toto je pouze pomocný blok, v němž před hlavním blokem inicializujeme a nastavíme frontu, pomocí které si paralelní smyčky v blocích C_1 a C_2 vyměňují data.

6.2.3.3 Logický blok C_1 - Hlavní blok: Sběr dat

Tento blok obsahuje zdrojový kód pro získávání dat z měřicí karty (HW režim) nebo ze simulovaného signálu (SW režim).

V HW režimu zpočátku dojde k vytvoření virtuálního kanálu pro sběr dat a ke konfiguraci časové základny pro vzorkování. Vzorkování je nastaveno na snímání 2000 vzorků rychlostí 20 kS/s.

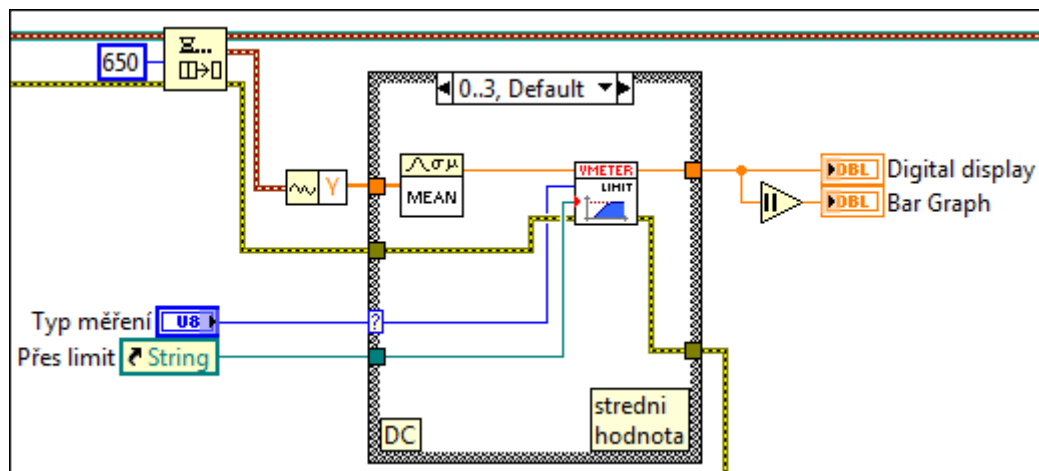
Poté následuje smyčka *While*, ve které se kontinuálně sbírají data (vzorkování). V HW režimu jsou data sbírána z analogových vstupů měřicí karty a v SW režimu dochází k simulovanému sběru dat prostřednictvím samostatného subVI (viz. Obr. 59).



Obr. 59 SubVI pro generování simulovaného signálu multimetru

6.2.3.4 Logický blok C₂ - Hlavní blok: Zpracování a prezentace dat

V tomto bloku se zpracují nasbíraná data a dochází k jejich zobrazení na čelním panelu. Data s nasbíranými vzorky jsou zde přiváděny pomocí fronty ze smyčky v bloku C₁.

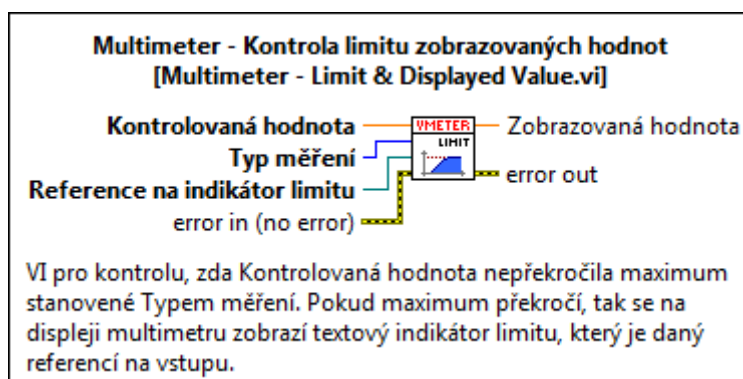


Obr. 60 Postup zpracování dat multimetru

Na Obr. 60 je ilustrován proces přečtení dat z fronty, jejich analýza a následující prezentace uživateli.

Multimetry na displeji nevypisují přímo amplitudu měřených dat. Dle typu snímaného napětí musí *Case struktura* na Obr. 60 zvolit, zda má počítat střední hodnotu měřeného napětí (pro stejnosměrné napětí) nebo efektivní hodnotu napětí (pro střídavé napětí). Teprve až takto vypočítaná hodnota může být zobrazena na displeji multimetru.

Multimetr má několik voleb napětěvých rozsahů měření a podle jejich nastavení musíme vypočtenou hodnotu před zobrazením na displeji upravit. O tento proces se stará samostatné subVI (viz. Obr. 61).



Obr. 61 SubVI pro kontrolu napětěového rozsahu

Do tohoto subVI přivedeme typ měření zvolený otočným knoflíkem na čelním panelu a vypočtenou hodnotu napětí. Ta se v subVI převede na vhodné jednotky (V/mV) a pokud přesahuje zadanou maximální napěťovou úroveň, vykreslí na displeji varování o přesáhnutí limitu (viz. Obr. 62).



Obr. 62 Měřená hodnota přesáhla napěťový limit multimetru

6.2.3.5 Logický blok C_3 - Hlavní blok: Zpracovávání událostí vyvolaných změnou vstupních parametrů

Tento blok tvoří smyčka *While*, v níž je umístěná *Eventová struktura*. Je zde použita pro prevenci kontroly stavu ovládacích prvků čelního panelu při každém cyklu programu. *Eventová struktura* reaguje na tyto změny, pouze když k nim dojde.

Zpracovává tyto události:

1. změna hodnoty otočného knoflíku pro výběr napěťového rozsahu a typu měřené veličiny
2. stisknutí tlačítka pro změnu režimu a ukončení aplikace

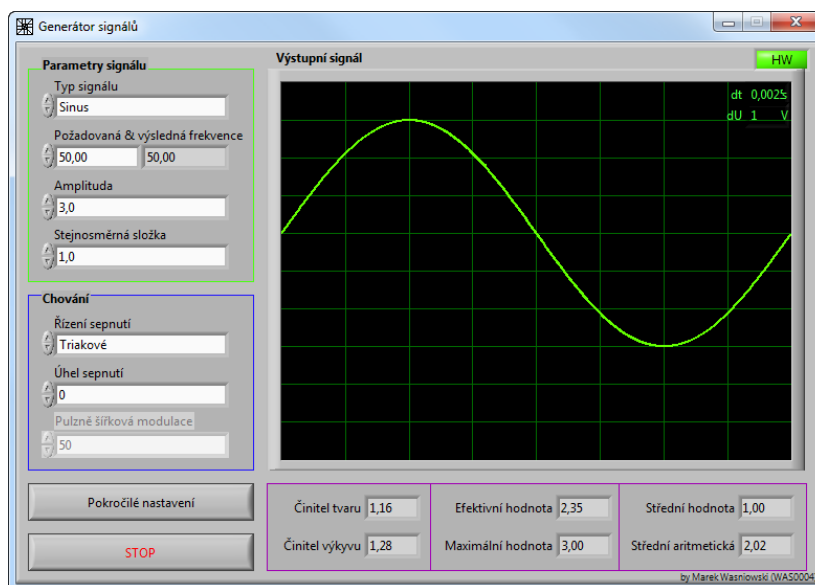
6.2.3.6 Logický blok D - Zrušení fronty

Jedná se o poslední jednoduchý blok, v němž zrušíme frontu a případně vypíšeme chyby, které nastaly v průběhu aplikace.

6.2.4 Kontrola funkčnosti aplikace

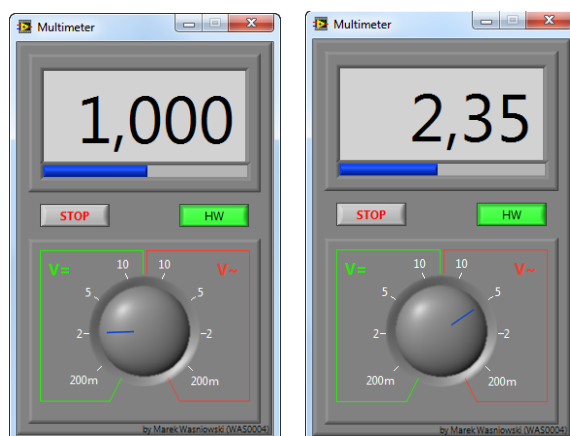
Kontrolu provádíme stejně jak u osciloskopu. Propojíme piny měřicí karty pro analogový výstup AO0 a analogový vstup AI0 (viz. Obr. 53). Následně na virtuálním funkčním generátoru vygenerujeme testovací signál, spustíme virtuální multimetr a provedeme kontrolu měřením střídavého napětí. Funkční generátor nám kontrolu zjednodušuje, neboť pod ukázkou generovaného signálu vádí střední a efektivní hodnoty signálu.

Parametry testovacího signálu: sinusový tvar, frekvence 50 Hz, amplituda 3V, stejnosměrná složka 1V.



Obr. 63 Generování testovacího signálu pro multimetr

Hodnoty uvedené funkčním generátorem (viz. Obr. 63) i měřené hodnoty na multimetru jsou shodné. Odpovídá jak efektivní hodnota napětí (viz. Obr. 64 vpravo), tak i střední hodnota napětí (viz. Obr. 64 vlevo). Můžeme usoudit, že virtuální přístroj pracuje v pořádku.



Obr. 64 Snímání testovacího signálu virtuálním multimetrem

7 Wattmetr

Poslední měřicí přístroj, který byl v rámci této práce vytvořen, je vhodný k základnímu měření elektrických veličin, např. efektivní napětí, proud, výkon, frekvence apod.

7.1 Popis přístroje

Wattmetr je přístroj pro měření výkonu elektrického proudu. Výkon měříme v obvodech střídavého proudu, neboť měření v obvodech stejnosměrného proudu je převážně prováděno odečtením napětí, proudu a užitím fyzikálního vzorce.

Wattmetry existují analogové i digitální. Nejčastějším analogovým wattmetrem je elektrodynamický wattmetr. **Digitální elektronické wattmetry** se používají pro přímé měření menších výkonů nebo k měření frekvencí mimo rozsah analogových wattmetrů.

Moderní digitální wattmetr snímá úrovně napětí a proudu tekoucí elektrickým obvodem několikrát za sekundu. Poté integrovaný výpočetní obvod použije vzorkované hodnoty a vypočítá efektivní hodnotu napětí, proudu, zdánlivý výkon, činný výkon, účinník a elektrickou energii v kWh. Měření mohou být zobrazena na displeji, uchována v paměti pro pozdější použití a počítání průměrů.

V běžném životě na wattmetr často narazíme v podobě malého zařízení zasouvateľného do zásuvky, které měří spotřebu elektrického proudu spotřebiče k němu připojeného. Jedná se o wattmetr pro měření elektrické spotřeby v jednotkách *Watt hodin* (Wh). [20]



Obr. 65 Wattmetr [21]

7.2 Realizace v LabVIEW

7.2.1 Předpokládané funkce

Požadavky na funkčnost jsou:

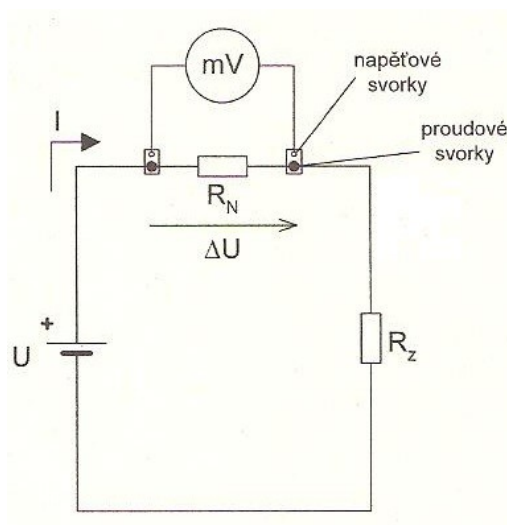
- zařízení může pracovat v reálném (HW) i simulovaném (SW) režimu
- výkon počítáme měřením celkového napětí a napětí na normálovém odporu (0,1 Ω , 1 Ω nebo 10 Ω)
- možnost nastavení simulovaného signálu na čelním panelu
- počítáme
 - efektivní hodnoty napětí
 - efektivní hodnoty proudu
 - frekvenci
 - činný výkon
 - zdánlivý výkon
 - jalový výkon
 - účinník
- transformace napětí a proudu

7.2.2 Princip měření proudu pomocí odporového normálu

Pro výpočet výkonu je potřeba znát celkové napětí na vstupu zátěže a proud, jenž jí protéká. Zvolené měřicí karty však neumožňují měření proudu a proto pro jeho určení musíme užít nepřímou metodu (viz. Obr. 66).

Do obvodu se zátěží zařadíme malý normálový odpor R_N a změříme na něm úbytek napětí (k tomu využijeme druhý napěťový analogový vstup měřicí karty). Pro velikost proudu tekoucího obvodem platí: [22]

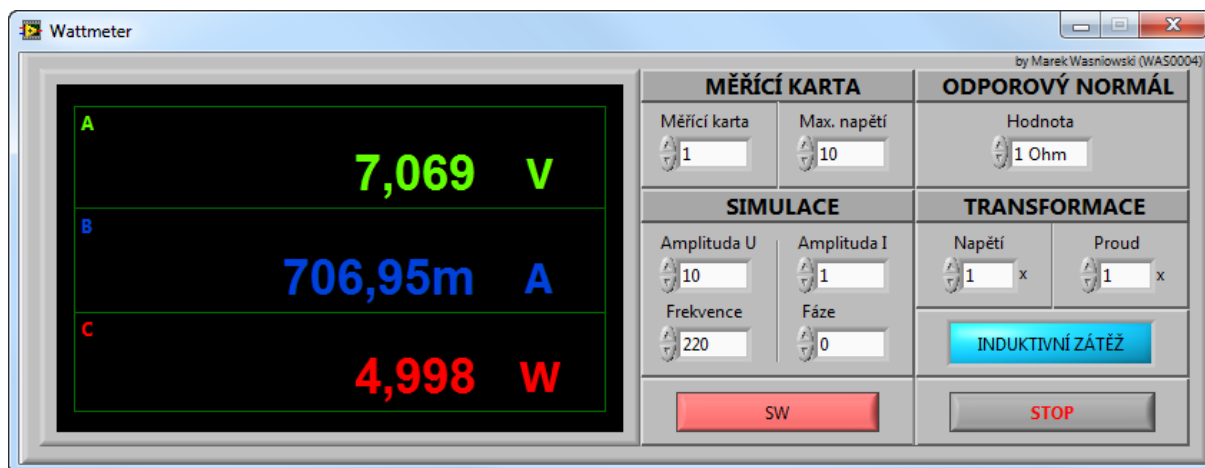
$$I = \frac{\Delta U}{R_N}$$



Obr. 66 Princip měření proudu pomocí odporového normálu [22]

7.2.3 Uživatelské rozhraní (Front Panel)

Čelní panel tohoto virtuálního přístroje (viz. Obr. 67) můžeme rozdělit do sedmi částí – displej, nastavení měřicí karty, nastavení simulovaného signálu, volba normálového odporu, transformace napětí a proudu, indikace typu zátěže a ovládacích tlačítek.



Obr. 67 Čelní panel wattmetru

Sekce s **displejem wattmetru** (viz. Obr. 68) se skládá z tří částí označených A, B a C pro indikaci měřených veličin. Veličina zobrazovaná na kterékoliv z nich může být jednoduše přepnuta kliknutím na prostor s jednotkou veličiny. Díky stavby displeje můžeme současně zobrazovat jakékoliv tři měřené veličiny, se kterými potřebujeme pracovat.



Obr. 68 Displej virtuálního wattmetru

Jak již název napovídá, **sekce pro nastavení měřicí karty** slouží k výběru měřicí karty a nastavení maximálního povoleného napětí (viz. Obr. 69).

Obr. 69 Konfigurace měřicí karty

Sekce **nastavení simulovaného signálu** (viz. Obr. 70) umožňuje úpravu parametrů simulovaného signálu. Obsahuje nastavitelná číselná pole pro nastavení amplitudy napěťového a proudového signálu, které při simulaci nahrazují měřená data. Pro tyto signály můžeme i hromadně nastavovat jejich frekvenci a fázový posun.

Obr. 70 Nastavení simulovaného signálu

V sekci na Obr. 71 volíme **velikost normálového odporu**. Volit můžeme ze tří hodnot – 0,1 Ω , 1 Ω a 10 Ω .

Obr. 71 Volba normálového odporu

V některých případech je měřené napětí či proud příliš velké. Proto je ho nutné před přivedením na kartu pomocí transformace snížit. V **sekci transformace** (viz. Obr. 72) můžeme zadat, kolikrát jsme napětí/proud snížili a na displeji se ukážou hodnoty pro napětí/proud před jejich snížením

Obr. 72 Nastavení transformace napětí a proudu

Pod sekci pro transformaci signálu jsou **indikátory** (viz. Obr. 73), zda měříme na zátěži induktivní či kapacitní.



Obr. 73 Indikátor typu zátěže (vlevo - induktivní, vpravo - kapacitní)

Poslední sekci jsou **ovládací tlačítka** (viz. Obr. 74). Levým tlačítkem přepínáme režim, v němž wattmetr pracuje (SW/HW). Tlačítkem **STOP** ukončíme aplikaci.



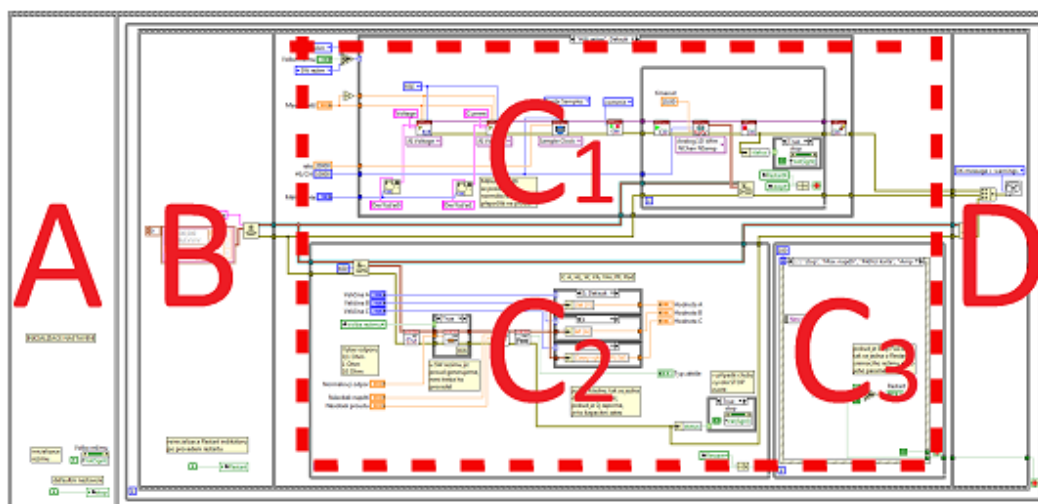
Obr. 74 Ovládací tlačítka wattmetru

7.2.4 Blokový diagram

Aplikace se skládá z pěti základních logických bloků (viz. Obr. 75):

- Inicializace a nastavení proměnných.
- Inicializace fronty.
- Hlavní blok:
 - Sběr dat.
 - Zpracování a prezentace dat.
 - Zpracovávání událostí vyvolaných změnou vstupních parametrů.
- Zrušení fronty.

Logické bloky C_1 , C_2 a C_3 tvoří dohromady jeden *Hlavní blok*. Jsou to tři spolupracující paralelní smyčky.



Obr. 75 Rozdělení blokového diagramu wattmetru

7.2.4.1 Logický blok A - Inicializace a nastavení proměnných

V tomto bloku provádíme inicializaci základního nastavení virtuálního přístroje. Nastavujeme výchozí hodnoty potřebných proměnných, jako jsou např. nastavení hodnot tlačítek, hodnot ovládacích prvků na čelním panelu atd. Dále nastavujeme výchozí režim práce aplikace – SW režim.

7.2.4.2 Logický blok B - Inicializace fronty

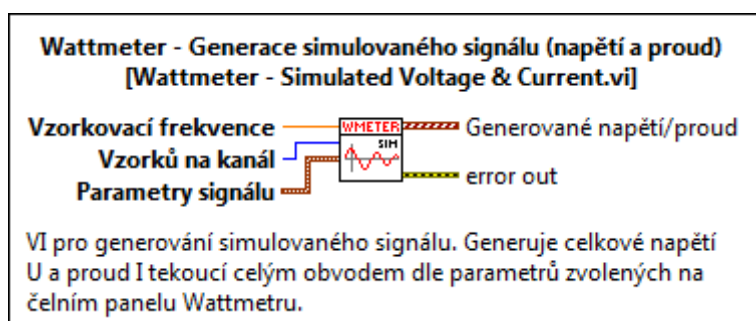
Toto je pouze pomocný blok, ve kterém před hlavním blokem provádíme inicializaci a nastavení fronty. Frontou si paralelní smyčky v blocích C_1 a C_2 vyměňují data.

7.2.4.3 Logický blok C_1 - Hlavní blok: Sběr dat

Tento blok obsahuje zdrojový kód pro získávání dat z měřicí karty (HW režim) nebo ze simulovaného signálu (SW režim).

V HW režimu zpočátku dojde k vytvoření dvou virtuálních kanálů pro sběr dat. Jeden kanál je vyhrazen měření napětí na zátěži a druhý měření úbytku napětí na normálovém odporu. Dále se provede konfigurace časové základny pro vzorkování. Vzorkování je nastaveno na snímání 10000 vzorků rychlostí 20 kS/s.

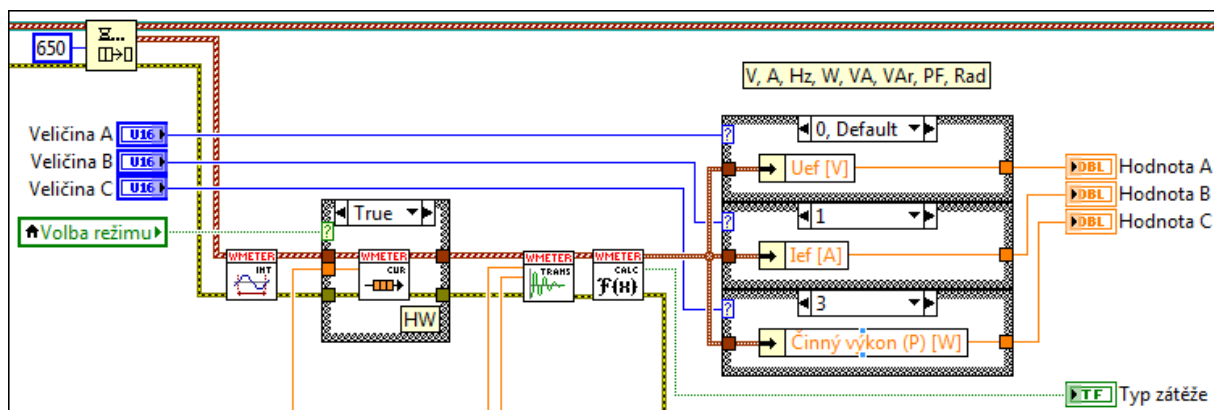
Následuje smyčka *While*, v níž se kontinuálně sbírají data (vzorkování). V HW režimu jsou data sbírána z analogových vstupů měřicí karty a v SW režimu dochází k simulovanému sběru dat prostřednictvím samostatného subVI (viz. Obr. 76).



Obr. 76 SubVI pro generování simulovaného signálu wattmetru

7.2.4.4 Logický blok C_2 - Hlavní blok: Zpracování a prezentace dat

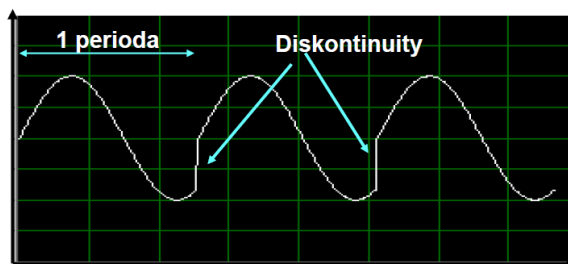
V tomto bloku se zpracují nasbíraná data a dochází k jejich zobrazení na čelním panelu. Data s nasnímanými vzorky jsou zde přiváděny pomocí fronty ze smyčky v bloku C_1 .



Obr. 77 Postup zpracování dat wattmetru

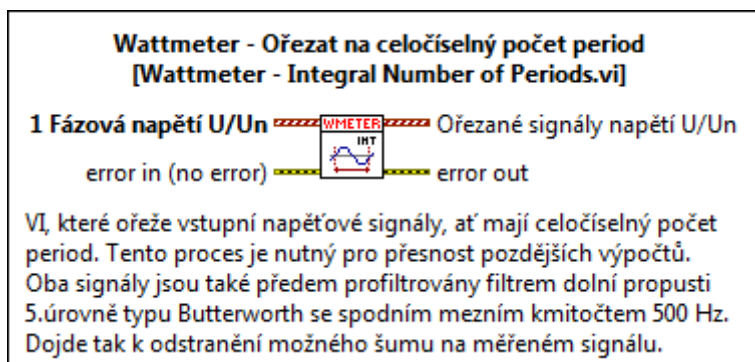
Na Obr. 77 je ilustrován proces čtení dat z fronty, jejich analýza a následující prezentace uživateli. Data zpracovávají čtyři subVI.

Signál, který byl navzorkován jako necelistvý počet period, obsahuje diskontinuity v periodickém opakování v časové oblasti (viz. Obr. 78). Dojde k tzv. **prosakování spektra**, které zkresluje měření.



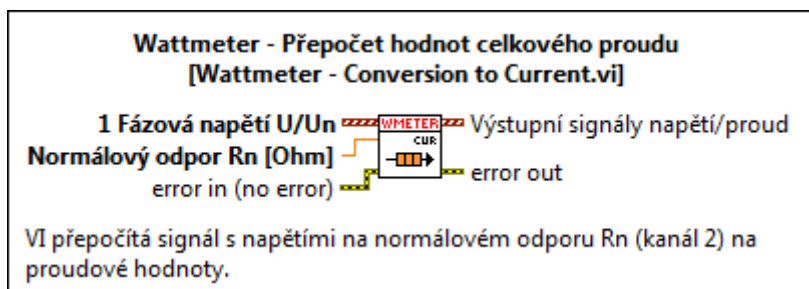
Obr. 78 Diskontinuita signálu

Pro odstranění diskontinuit na vzorkovaném signálu slouží první subVI (viz. Obr. 79) v sekvenci pro úpravu signálu na Obr. 77. Toto subVI nejdříve provede filtraci měřeného signálu pomocí filtru dolní propusti 5. řádu (Butterworth), čímž odstraní rušivé faktory na signálu (šum atd.). Po filtraci odstraní všechny neúplné periody signálu, a tím zabrání výskytu diskontinuit. Jde o důležitý postup pro odstranění nepřesností při pozdějších výpočtech výkonů.



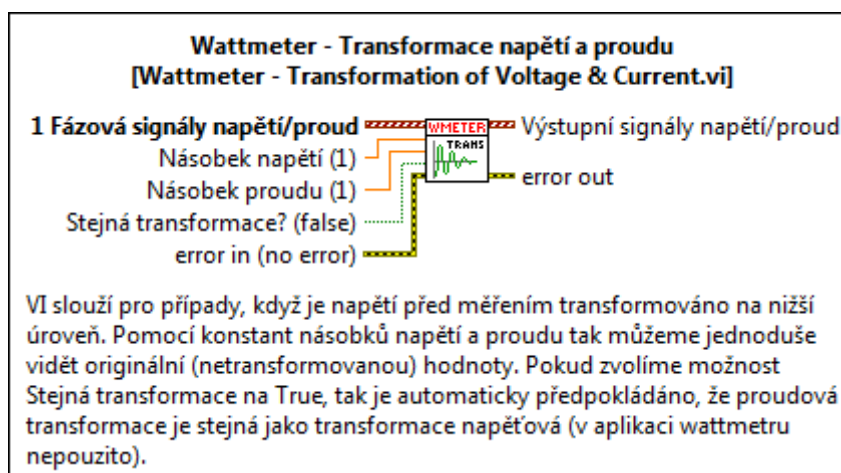
Obr. 79 SubVI pro odstranění diskontinuit

Další subVI (viz. Obr. 80) je umístěno v *Case struktuře* řízené volbou režimu, tj. spouštěné pouze v HW režimu. V SW režimu je ignorováno a data jsou poslána dále beze změny. Samotné subVI provádí přepočítání signálu z druhého kanálu na proud. Toho dosáhne výpočtem dle Ohmova zákona (viz. Kapitola 7.2.2). SubVI se provádí pouze v HW režimu, neboť při SW režimu již proud přímo generujeme a není jej třeba nijak přepočítávat.



Obr. 80 SubVI pro přepočítání úbytku napětí na proud

V následujícím subVI (viz. Obr. 81) provádíme transformaci napětí či proudu. Hodnota každého vzorku je násobena uživatelsky zadanou konstantou na čelním panelu.

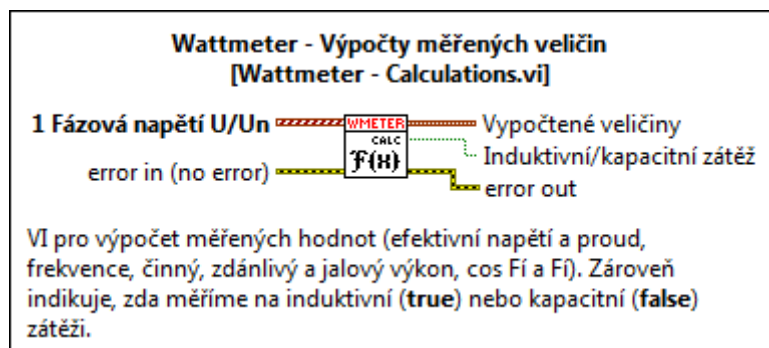


Obr. 81 SubVI pro transformaci napětí a proudu

Poslední subVI (viz. Obr. 82) sekvenční pro úpravu signálu slouží k výpočtům veličin zobrazovaných na displeji wattmetru. Mezi tyto veličiny patří – efektivní hodnota napětí a proudu, frekvence, činný výkon, zdánlivý výkon, jalový výkon, účinník a fázový posun mezi proudem a napětím ϕ (viz. Tab. 4). Dle velikosti vypočítaného jalového výkonu určí, zda měříme na kapacitní ($Q < 0$) nebo induktivní ($Q > 0$) zátěži.

Veličina	Popis	Metoda výpočtu
Efektivní hodnota napětí U_{ef} [V]	Je rovna hodnotě stejnosměrného napětí, které by při přiložení na odporovou zátěž dávalo shodný průměrný výkon. V LabVIEW uijeme funkci RMS .	$U_{ef} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$
Efektivní hodnota proudu I_{ef} [A]	Je rovna hodnotě stejnosměrného proudu, který by při průchodu odporovou zátěží dával shodný průměrný výkon. V LabVIEW uijeme funkci RMS .	$I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$
Činný výkon P [W]	Vyjadřuje energii, která se v obvodu skutečně přemění na jinou užitečnou formu energie. Počítáme jej jako střední hodnotu výkonu za periodu.	$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt$ $P = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi$
Zdánlivý výkon S [VA]	Definován jako prostý součin efektivních hodnot napětí U_{ef} a proudu I_{ef} procházejícího obvodem.	$S = U_{ef} \cdot I_{ef}$
Jalový výkon Q [var]	Část výkonu s nulovou střední hodnotou, představující pouhé přelévání energie mezi zdrojem a spotřebičem tam a zpět.	$Q = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \sin \varphi$ $Q^2 = S^2 - P^2$
Účinník $\cos \varphi$ [-]	Je poměrem činného a zdánlivého elektrického výkonu v obvodu střídavého proudu a napětí.	$\cos \varphi = \frac{P}{S}$

Tab. 4 Počítané veličiny wattmetru [23], [24]



Obr. 82 SubVI pro výpočet zobrazovaných veličin wattmetru

7.2.4.5 Logický blok C₃ - Hlavní blok: Zpracovávání událostí vyvolaných změnou vstupních parametrů

Tento blok je tvořen smyčkou *While*, v níž je umístěná *Eventová struktura*. Je použita pro prevenci kontroly stavu ovládacích prvků čelního panelu při každém cyklu programu. *Eventová struktura* reaguje na tyto změny pouze tehdy, když k nim dojde.

Zpracovává tyto události:

1. stisknutí tlačítka pro změnu režimu
2. změna ovládacího prvku pro maximální napětí, výběr použité měřicí karty, parametrů simulovaného signálu; stisknutí tlačítka pro ukončení aplikace

7.2.4.6 Logický blok D - Zrušení fronty

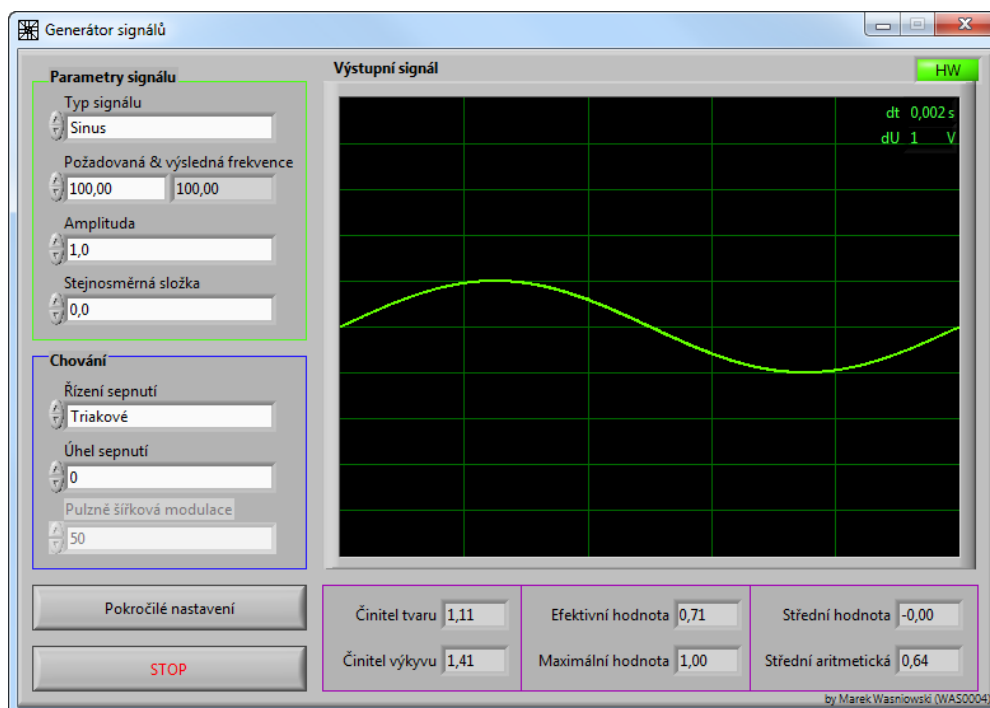
Jedná se o krátký blok, jímž zrušíme frontu a vypíšeme případné chyby, které mohly nastat.

7.2.5 Kontrola funkčnosti aplikace

U tohoto přístroje provedeme nepřímou kontrolu prostřednictvím matematických propočtů (viz. Tab. 4) a jejich porovnání s naměřenými hodnotami.

Při kontrole opět využijeme virtuálního funkčního generátoru ze třetí kapitoly (viz. Obr. 83). Na rozdíl od předchozích kontrol wattmetr pro práci vyžaduje dva napěťové signály. Propojíme proto piny měřicí karty pro analogové vstupy AI0 a AI1 s pinem analogového výstupu AO0. Tím získáme napěťové signály na obou měřicích kanálech (pro celkové napětí i úbytkové napětí na normálovém odporu).

Parametry testovacího signálu: sinusový tvar, frekvence 100 Hz, amplituda 1V.

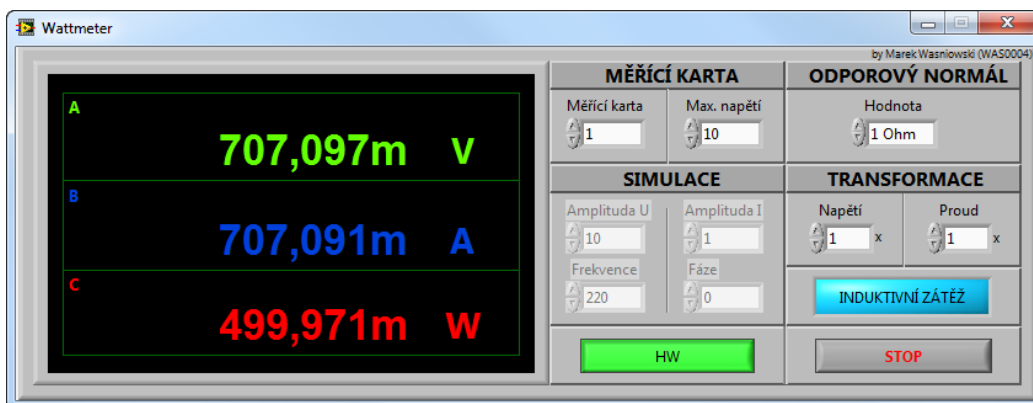


Obr. 83 Generování testovacího signálu pro wattmetr

Virtuální wattmetr po spuštění HW režimu (viz. Obr. 84) naměřil hodnoty:

- $U_{ef} = 707,097 \text{ mV}$
- $I_{ef} = 707,091 \text{ mA}$
- $P = 499,971 \text{ mW}$
- $S = 499,976 \text{ mVA}$
- $Q = 3,383 \text{ mvar}$
- $\cos\varphi = 1$

Hodnoty naměřené virtuálním wattmetrem nyní musíme matematicky ověřit.



Obr. 84 Snímání testovacího signálu virtuálním wattmetrem

Ze zadání generovaného signálu určíme hodnotu maximálního napětí (amplitudy) signálů na obou měřených kanálech. Neboť jsou oba signály shodné a tedy ve fázi, je $\cos \varphi = 1$.

$$\begin{aligned} U_{\max} &= 1 \text{ V} \\ U_{R,\max} &= 1 \text{ V} \\ \cos \varphi &= 1 \end{aligned}$$

Pomocí Ohmova zákona z hodnoty $U_{R,\max}$ vypočteme pro normálový odpor 1Ω proud tekoucí zátěží.

$$I_{\max} = \frac{U_{R,\max}}{R_N} = \frac{1}{1} = 1 \text{ A}$$

Nyní provedeme dle vzorců v Tab. 4 výpočty měřených veličin.

$$U_{ef} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 \text{ V}$$

$$I_{ef} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 \text{ V}$$

$$S = U_{ef} \cdot I_{ef} = 0,707 \cdot 0,707 = 0,5 \text{ VA}$$

$$P = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi = S \cdot \cos \varphi = 0,5 \cdot 1 = 0,5 \text{ W}$$

$$Q^2 = S^2 - P^2$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{0,5^2 - 0,5^2} = 0 \text{ var}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{0,5}{0,5} = 1$$

Po porovnání vypočítaných hodnot a hodnot uvedených wattmetrem můžeme usoudit, že virtuální přístroj pracuje v pořádku. Hodnoty se totiž až na menší rozdíly způsobené mírnou nepřesností měření shodují.

8 Závěr

Tato bakalářská práce nastínila problematiku tvorby virtuálních přístrojů. Pomohla mi rozšířit mé znalosti o principu virtualizace měřících přístrojů, o práci ve vývojovém prostředí LabVIEW i s univerzálními měřícími kartami. S vývojovým prostředím LabVIEW jsem dříve neměl praktické zkušenosti, neboť jsem se s ním seznámil až během studia předmětu Virtuální instrumentace I, kde byly hlavní náplní pouhé základy programování. Nedostatek jsem postupně překonal zapůjčením měřící karty NI USB-6212 z Katedry měřící a řídicí techniky VŠB-TUO. Na ní jsem během bakalářské práce testoval mnou tvořené programy, čímž se mé vědomosti prohlubovaly.

Od zadané práce se očekávala tvorba čtyř zadaných virtuálních přístrojů - funkčního generátoru, osciloskopu, multimetru a wattmetru, které nejsou finančně ani prostorově náročné a univerzita je bude následně používat jako pomůcky při výuce i v rámci praktických cvičení. Studenti zároveň získají možnost seznámit se s ovládáním komplikovanějších reálných zařízení. Pro použití některé z těchto aplikací jako měřícího prostředku je nutné užití vhodné měřící karty, která pracuje v souladu s vytvořeným programem.

Program, na kterém jsem pracoval nejdříve, byl funkční generátor. Na něm jsem se zároveň učil jak pomocí LabVIEW snímat a generovat data prostřednictvím měřícího hardwaru (měřící karty). Při realizaci v pořadí dalšího virtuálního přístroje - osciloskopu - mne zpočátku zaskočil problém při výběru vhodné struktury obsluhující sběr a zpracování dat. Problém jsem vyřešil použitím dvou paralelních smyček *While*, přičemž první obsluhuje sběr dat z měřící karty a druhá tyto data zpracovává. Data se mezi smyčkami vyměňují pomocí fronty. Struktura, kterou jsem takto vytvořil v aplikaci osciloskopu, se osvědčila, a proto ji po úpravě rovněž používám v aplikacích následujících (multimetr a wattmetr).

Po dokončení všech čtyř aplikací jsem pomocí měřící karty provedl kontrolu jejich správné činnosti. V případě funkčního generátoru jsem v univerzitní laboratoři kontroloval generovaný signál prostřednictvím reálného digitálního osciloskopu RIGOL DS1102D. U dalších třech aplikací pro měření signálu byla funkčnost kontrolována snímáním testovacího signálu, který je generován mou první aplikací - funkčním generátorem. Kontrola virtuálních přístrojů dokázala, že pracují správně, a tudíž by mohly dobře obstát i ve srovnání s reálnými přístroji. Reálné přístroje mají sice výhodu v přesnosti, ale virtuální zařízení mohou být neustále rozšiřována o nové funkce, což u reálných přístrojů již nelze.

Co se týče dalšího vývoje projektu, existují stále funkce, které se do výše zmíněných virtuálních aplikací mohou přidávat, což by ovšem vyžadovalo dodatečné studium problematiky. Příkladem je spektrální analýza signálu na osciloskopu, horizontální posun signálu na displeji osciloskopu, měření proudu u multimetru apod.

9 Použitá literatura

- [1] WITTASSEK, Tomáš. Přednáška 1. *Virtuální Instrumentace I.* [online]. 2010, č. 1 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://feil.vsb.cz/stud_mat/K450/Volitelne_Predmety/Virtualni_Instrumentace_1/prednasky_2010/CZ/VII_Prednes01-LVBasicI_2010.pdf>.
- [2] ŠTEFAN, Radim. Měřicí karty – jak správně vybírat. *AUTOMA* [online]. 2004, č. 7 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32427>.
- [3] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Data acquisition* [online]. c2011, poslední revize 24.3.2012 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Data_acquisition>.
- [4] VOJÁČEK, Antonín. *Měření notebookem aneb různé PCMCIA měřicí karty* [online]. c2006, poslední revize 27.1.2006 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <<http://automatizace.hw.cz/clanek/2006012701>>.
- [5] VLACH, J. - HAVLÍČEK, J. - VLACH, M. Pořizování dat (Data Acquisition - DAQ). In *Začínáme s LabVIEW*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008. Kapitola 9, s. 180-184.
- [6] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI USB-6212* [online]. c2007, poslední revize 12.11.2007 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/207096>>.
- [7] NATIONAL INSTRUMENTS. *DAQ M Series: NI USB-621x User Manual* [online]. c2009, poslední revize duben 2009 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: <<http://www.ni.com/pdf/manuals/371931f.pdf>>.
- [8] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI PCI-6221* [online]. c2005, poslední revize 26.2.2005 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14132>>.
- [9] NATIONAL INSTRUMENTS. *DAQ M Series: NI PCI-622x User Manual* [online]. c2008, poslední revize červenec 2008 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <<http://www.ni.com/pdf/manuals/371022k.pdf>>.
- [10] VLACH, J. - HAVLÍČEK, J. - VLACH, M. Popis a princip vývojového prostředí LabVIEW. In *Začínáme s LabVIEW*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008. Kapitola 2, s. 18.
- [11] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: LabVIEW* [online]. c2011, poslední revize 12.4.2012 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Labview>>.
- [12] AGILENT TECHNOLOGIES. *33250A Function / Arbitrary Waveform Generator, 80 MHz* [online]. c2002, poslední revize 29.11.2011 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <<http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?id=1000000803:epsg:pro&pageMode=OV&pid=1000000803&cc=CZ&lc=eng>>.
- [13] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Signal generator* [online]. c2011, poslední revize 2.4.2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Signal_generator>.
- [14] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Square wave* [online]. c2011, poslední revize 20.4.2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Square_wave>.

- [15] WEST, Ken. *Harmonické - Skutečná efektivní hodnota (true RMS)* [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.medportal.cz/files/file/lpq_cz/3_2_2.pdf>.
- [16] TEKTRONIX. *TDS2000C Oscilloscope Series* [online]. c2012, poslední revize 23.4.2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <<http://www.tek.com/oscilloscope/tds2000>>.
- [17] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Oscilloscope* [online]. c2011, poslední revize 15.4.2012 [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Oscilloscope>>.
- [18] MADE-IN-CHINA.COM. *Multimeter (83)* [online]. c2009 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <<http://chinahonly.en.made-in-china.com/product/LbtEjrIMqpRY/China-Multimeter-83-.html>>.
- [19] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Multimeter* [online]. c2011, poslední revize 25.4.2012 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Multimeter>>.
- [20] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Wattmeter* [online]. c2011, poslední revize 13.3.2012 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Wattmeter>>.
- [21] YOKOGAWA. *WT210/WT230 Digital Power Meters* [online]. c2002, poslední revize 4.4.2012 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <<http://tmi.yokogawa.com/products/digital-power-analyzers/digital-power-analyzers/wt210wt230-digital-power-meters/>>.
- [22] NAKLADATELSTVÍ BEN. Měření elektrického proudu. In *Elektrotechnická měření*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002. Kapitola 6, s. 96.
- [23] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Efektivní hodnota* [online]. c2011, poslední revize 8.8.2011 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Efektivní_hodnota>.
- [24] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Účinník* [online]. c2011, poslední revize 6.11.2011 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Účinník>>.

10 Seznam obrázků

Obr. 1 Ukázkové schéma měřicího systému	2
Obr. 2 Sběr dat prostřednictvím DAQ karty a PC.....	3
Obr. 3 Ukázka správně připojené měřicí karty v utilitě MAX u LabVIEW	4
Obr. 4 Čelní pohled na měřicí kartu NI USB-6212.....	5
Obr. 5 Rozložení pinů měřicí karty NI USB-6212.....	7
Obr. 6 Blokový diagram měřicí karty	8
Obr. 7 Blokový diagram analogových vstupů.....	8
Obr. 8 Blokový diagram analogových výstupů.....	9
Obr. 9 Čelní pohled na měřicí kartu NI PCI-6221	10
Obr. 10 Rozložení pinů měřicí karty NI PCI-6221	13
Obr. 11 Blokový diagram měřicí karty	14
Obr. 12 Blokový diagram analogových vstupů.....	14
Obr. 13 Blokový diagram analogových výstupů.....	15
Obr. 14 Vzorový program v LabVIEW	18
Obr. 15 Vzorové subVI (vlevo - ikona a konektorový panel,	18
Obr. 16 Funkční generátor	20
Obr. 17 Nejčastější tvary signálů	21
Obr. 18 Čelní panel funkčního generátoru	22
Obr. 19 Triakové a tyristorové spínání při úhlu sepnutí 0°	23
Obr. 20 Triakové a tyristorové spínání při úhlu sepnutí 90°	24
Obr. 21 Okno pro pokročilé nastavení	24
Obr. 22 Indikátor zvoleného režimu v pravém horním rohu Front Panelu	25
Obr. 23 Rozdělení blokového diagramu funkčního generátoru	25
Obr. 24 SubVI Kontrola HW	26
Obr. 25 SubVI pro výpočet min. a max. hodnoty DC složky	26
Obr. 26 SubVI pro kontrolu přesahu min. a max. s automatickou opravou hodnot	27
Obr. 27 SubVI pro generování digitální podoby požadovaného signálu	28
Obr. 28 SubVI pro výpočet statistických informací o signálu	29
Obr. 29 SubVI pro vyvolání dialogu s pokročilým nastavením.....	29

Obr. 30 Testování funkčního generátoru osciloskopem.....	30
Obr. 31 Sinusový signál s amplitudou 3V.....	30
Obr. 32 Další testované signály.....	31
Obr. 33 Osciloskop.....	32
Obr. 34 Běžný vnější vzhled osciloskopu	33
Obr. 35 Čelní panel osciloskopu	34
Obr. 36 Displej virtuálního osciloskopu	35
Obr. 37 Vertikální sekce.....	36
Obr. 38 Horizontální sekce.....	36
Obr. 39 Sekce pro Trigger.....	37
Obr. 40 Sekce pro kurzor	37
Obr. 41 Sekce nastavení hardware	37
Obr. 42 Tlačítko pro volbu režimu osciloskopu.....	38
Obr. 43 Rozdělení blokového diagramu osciloskopu	38
Obr. 44 SubVI pro generování simulovaných signálů osciloskopu	40
Obr. 45 Postup zpracování dat v osciloskopu	40
Obr. 46 SubVI pro obsluhu Triggeru	40
Obr. 47 SubVI pro nastavení časové základny	41
Obr. 48 SubVI pro nastavení vertikálního posunu	41
Obr. 49 SubVI pro nastavení napěťového měřítka.....	42
Obr. 50 SubVI pro zjištění informací o signálu	43
Obr. 51 SubVI pro zjištění kurzorových informací.....	43
Obr. 52 SubVI pro nastavení měřítka osy X na displeji osciloskopu	44
Obr. 53 Zapojení měřicí karty při kontrole aplikace.....	45
Obr. 54 Generování testovacího signálu pro osciloskop.....	46
Obr. 55 Snímání testovacího signálu virtuálním osciloskopem	46
Obr. 56 Multimetr	47
Obr. 57 Čelní panel multimetru.....	48
Obr. 58 Rozdělení blokového diagramu multimetru.....	49
Obr. 59 SubVI pro generování simulovaného signálu multimetru	50
Obr. 60 Postup zpracování dat multimetru.....	51

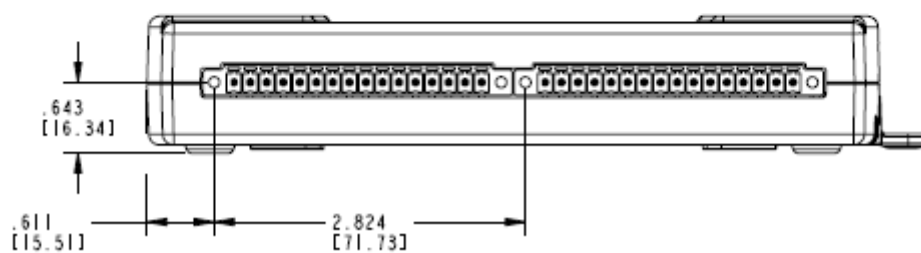
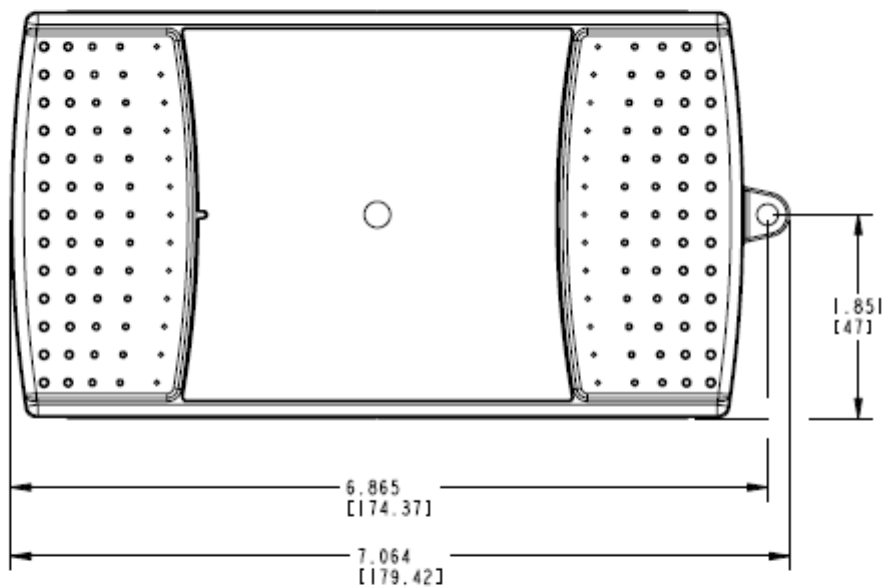
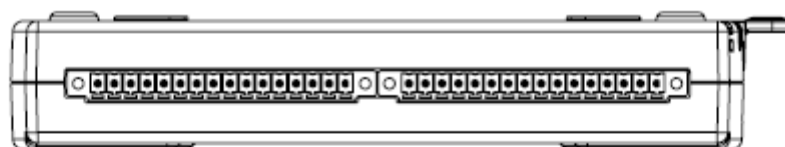
Obr. 61 SubVI pro kontrolu napětového rozsahu	51
Obr. 62 Měřená hodnota přesáhla napětový limit multimetru	52
Obr. 63 Generování testovacího signálu pro multimetr	53
Obr. 64 Snímání testovacího signálu virtuálním multimetrem	53
Obr. 65 Wattmetr.....	54
Obr. 66 Princip měření proudu pomocí odporového normálu	55
Obr. 67 Čelní panel wattmetru	56
Obr. 68 Displej virtuálního wattmetru	56
Obr. 69 Konfigurace měřicí karty	57
Obr. 70 Nastavení simulovaného signálu	57
Obr. 71 Volba normálového odporu	57
Obr. 72 Nastavení transformace napětí a proudu	57
Obr. 73 Indikátor typu zátěže	58
Obr. 74 Ovládací tlačítka wattmetru	58
Obr. 75 Rozdělení blokového diagramu wattmetru	58
Obr. 76 SubVI pro generování simulovaného signálu wattmetru	59
Obr. 77 Postup zpracování dat wattmetru	60
Obr. 78 Diskontinuita signálu	60
Obr. 79 SubVI pro odstranění diskontinuit	60
Obr. 80 SubVI pro přepočet úbytku napětí na proud	61
Obr. 81 SubVI pro transformaci napětí a proudu	61
Obr. 82 SubVI pro výpočet zobrazovaných veličin wattmetru	62
Obr. 83 Generování testovacího signálu pro wattmetr	64
Obr. 84 Snímání testovacího signálu virtuálním wattmetrem	65

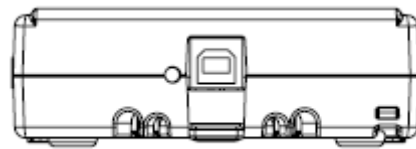
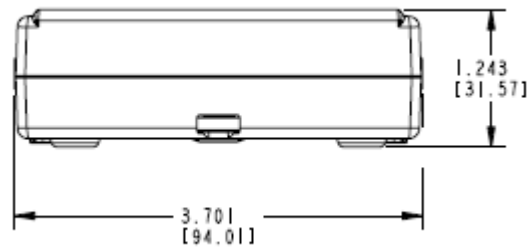
11 Seznam příloh

Příloha I Rozměry měřicí karty NI USB-6212

Příloha II Rozměry měřicí karty NI PCI-6221

Příloha I Rozměry měřicí karty NI USB-6212





Příloha II Rozměry měřicí karty NI PCI-6221

